Aus der Frauenklinik der Universität Düsseldorf
(Direktor: Prof. Dr. med. L. Beck)

BESTIMMUNG DES PLAZENTAWACHSTUMS AUS ULTRASCHALLSCHNITTBILDERN

Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf

vorgelegt von

PETER KOZLOWSKI

1980

1979

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543926_0048

Aus der Frauenklinik der Universität Düsseldorf

(Direktor: Prof. Dr. med. L. Beck)

BESTIMMUNG DES PLAZENTAWACHSTUMS AUS ULTRASCHALLSCHNITTBILDERN

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin

der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf

vorgelegt von

PETER KOZLOWSKI

1979

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf

Der Dekan
der Medizinischen Fakultät
der Universität Düsseldorf

gez.: Prof.Dr. Krüskemper

Referent
gez.: Prof.Dr. Morgenstern

Korreferent
gez.: Prof.Dr. Bokelmann

INHALTSVERZEICHNIS

1.	EINLEITUNG	1
1.1	Sonographische Darstellung der Plazenta	1
1.2	Metrische Untersuchungen der Plazenta post partum	4
1.2.1	Plazentagewicht	4
1.2.2	Plazentagewicht und Kindsgewicht	9
1.2.3	Plazentagewicht, Parität und Kindsgeschlecht	11
1.2.4	Plazentavolumen	12
1.3	Metrische Untersuchungen der Plazenta mittels Ultraschall	13
2.	ZIEL UND FRAGESTELLUNG DER VORGELEGTEN UNTERSUCHUNG	22
3.	METHODE UND UNTERSUCHTE SCHWANGERSCHAFTEN	24
3.1	Physikalische und technische Grundlagen	24
3.1.1	Ultraschallwellen und ihre Eigenschaften in verschiedenen Medien	24
3.1.2	Wirkungsweise von Ultraschallgeräten	29
3.1.3	Eindimensionale Darstellung (A-Bild)	31
3.1.4	Zweidimensionale Darstellung (B-Bild)	32
3.1.5	Grauwert- (Greyscale-) Technik	35
3.1.6	Mögliche Schäden durch Ultraschallwellen	36
3.2	Zusammensetzung des untersuchten Kollektivs	39
3.3	Das Modell der Plazenta	43
3.4	Ultraschallgerät, Ablauf der Messung, Dokumentation	44
3.5	Vermessung der Einzelschnittbilder, Berechnung von uteriner Haftfläche, Gesamtoberfläche und Volumen	48
3.6	Erhobene Patientendaten	49

4.	FEHLER UND FEHLERQUELLEN	52
4.1	Intrapersoneller Fehler	52
4.2	Interpersoneller Fehler	52
4.3	Mögliche Fehlerquellen	53
5.	ERGEBNISSE	56
5.1	Divergente Ergebnisse aus Longitudinal- und Transversalserien	56
5.2	Wachstum von Plazentavolumen, -haftfläche und -oberfläche im Verlauf der Schwangerschaft	57
5.3	Plazentavolumen und -haftfläche in diabetischen und wachstumsretardierten Schwangerschaften	62
5.4	Das Verhältnis von Volumen zu Haftfläche im Normal- und im pathologischen Kollektiv	64
5.5	Plazentaoberfläche und -haftfläche	68
5.6	Wachstumsgeschwindigkeiten der Plazenta und des Feten	68
5.7	Verhältnis der intrauterin bestimmten Plazentagröße zu postpartal erhobenen Befunden	72
6.	DISKUSSION	75
7.	ZUSAMMENFASSUNG	79
8.	LITERATURVERZEICHNIS	84
9.	ANHANG	93

1. EINLEITUNG

1.1 Sonographische Darstellung der Plazenta

Die Ultraschall-Schnittbildtechnik gehört heute zu den diagnostischen Methoden vieler medizinischer Fachgebiete. 1950 demonstrierten HOWRY und BLISS mit dem von ihnen konstruierten "Somascope" die ersten zweidimensionalen Schnittbilder menschlicher Organe. DONALD zeigte 1958 in seiner Arbeit "Investigation of Abdominal Masses by Pulsed Ultrasound" die Anwendungsbereiche der Ultraschall-Technik, insbesondere in der geburtshilflichen und gynäkologischen Diagnostik, auf. Verbesserungen der Methode sowohl des eindimensionalen A-Bildes als auch des zweidimensionalen B-Bildes ließen im Bereich der Geburtshilfe neben der Messung des fetalen biparietalen Durchmessers und der Bestimmung der Lage des Kindes im Uterus auch die Darstellung der Plazenta zu: 1966 konnte KRATOCHWIL in Wien erstmals die Plazenta im A-Bild demonstrieren (Abb. 1).

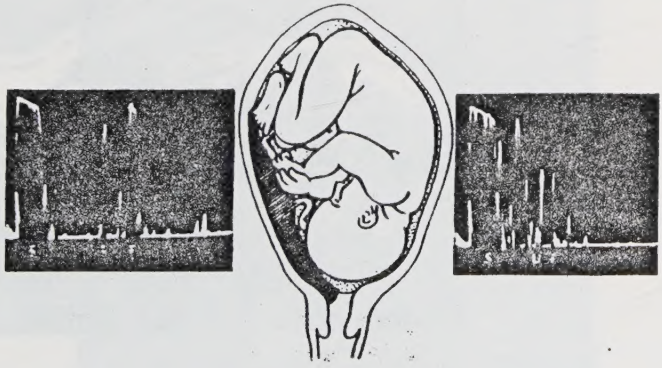


Abb. 1: Sonographische Darstellung der Plazenta im A-bild
S - Sendeimpuls, P - Plazentagrenze, F - Frucht
U - Uterus (nach KRATOCHWIL 1966)

Im gleichen Jahr legten GOTTESFELD und Mitarbeiter einen ersten Bericht über die Anwendung des Ultraschall-B-Bild-Verfahrens zur Lokalisation der Plazenta vor (Abb. 2). Zu diesem Zeitpunkt bereits konnte die Genauigkeit der neuen Methode zur Bestimmung des Plazentasitzes anhand einer größeren Studie mit 97% angegeben werden, ein Ergebnis, das von HANSMANN acht Jahre später in einer die Erfahrungen mehrerer Arbeitsgruppen zusammenfassenden Arbeit über die Leistungsfähigkeit der Ultraschalldiagnostik in der Geburtshilfe im Wesentlichen bestätigt wurde (1974). Das Ultraschall-Verfahren vereinfachte die Befunderhebung bei Verdacht auf Placenta praevia und die Lagebestimmung der Plazenta vor Amniozentesen. Andere Verfahren zur Plazentalokalisation wie Arteriographie, Thermographie und Isotopentechniken wurden durch die Ultraschall-Technik verdrängt: Die Methode war in der Genauigkeit ihrer Aussage und in ihrer Fehlerbreite mindestens ebenbürtig und bot zudem alle Vorteile eines nicht-invasiven Verfahrens (CAMPBELL 1968, DONALD 1968 und 1969, ROBINSON 1970).

Abb. 2: Darstellung der Plazenta im B-Bild auf einer Speicherbildröhre

Von verschiedenen Autoren wurden seit 1970 Ansätze zu einer erweiterten Plazentadiagnostik erarbeitet: Neben der Lokalisation in utero wurde auf die Möglichkeiten hingewiesen, die Plazenta exakt in ihren Dimensionen als Weichteilgewebe darzustellen, damit Größe, Volumen und Wachstum zu bestimmen und somit möglicherweise Rückschlüsse auf den Funktionszustand des Organs herleiten zu können (HELLMAN 1970, KLINK 1971, SCHLENSKER 1971, HOLLÄNDER 1972).

In den letzten Jahren wurde die Ultraschall-Diagnostik durch die Entwicklung der sog. Grauwert- (Greyscale-) Technik in ihren Aussagemöglichkeiten erweitert. Sowohl eine australische Arbeitsgruppe um KOSSOFF als auch DONALD und Mitarbeiter in Schottland, beide unabhängig voneinander mit der Entwicklung von Ultraschallgeräten und der Erforschung ihrer Anwendungsmöglichkeiten befaßt, haben seit 1972 in zahlreichen Arbeiten, von denen hier nur die wichtigsten genannt sein sollen (17,18,43,44), die neue Methode eingehend erläutert.

Abb. 3: Darstellung der Plazenta im B-Bild in Greyscale-Technik. Gleiche Patientin und gleiches Längsschnittbild wie in Abb. 2

Die Abbildungen 2 und 3 demonstrieren deutlich die Unterschiede in der "Lesbarkeit" zweier Ultraschall-Schnittbilder der Plazenta, zum einen in herkömmlicher B-Bild-Technik auf einer Kathodenstrahlröhre, zum anderen in Grauwert-Technik auf einem Schwarz-Weiß-Monitor dargestellt.

FISHER, GARRETT und KOSSOFF zeigten 1972 und 1976 die charakteristische Binnenstruktur der Plazenta und deren Veränderungen im Verlauf der Schwangerschaft. In manchen Fällen ist das Auftreten von Verkalkungen, Infarkten und sog. "avillösen Räumen" (FISHER), deren pathognomonische Bedeutung noch ungeklärt ist, sonographisch zu beobachten. Die Erforschung der Zusammenhänge zwischen Gewebestruktur der Plazenta im Ultraschallbild und dem Funktionszustand des Organs bzw. der Möglichkeiten prospektiver Aussagen über das fetal outcome wird sicherlich einen der künftigen Schwerpunkte auf dem Gebiet der Plazentasonographie bilden.

1.2 Metrische Untersuchungen der Plazenta post partum

Bereits in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts wurde die Plazenta nach der Geburt vermessen. ADAIR und THELANDER (1925) geben eine Zusammenfassung der vorausgegangenen Arbeiten auf diesem Gebiet. Die hauptsächlichen Gegenstände der Untersuchungen waren das Verhältnis von Plazentagewicht und Kindsgewicht sowie von Plazentagewicht und Schwangerschaftsalter, der Einfluß von Kindsgeschlecht und Parität auf das Plazentagewicht und die Größe des Plazentavolumens.

1.2.1 Plazentagewicht

In Abbildung 4 sind die Ergebnisse sechs verschiedener Untersucher, die postpartale Gewichtsbestimmungen von Plazenten vornahmen, gemeinsam dargestellt. Auf die Eintra-

gung der von einigen Autoren angegebenen Standardabweichungen wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet.

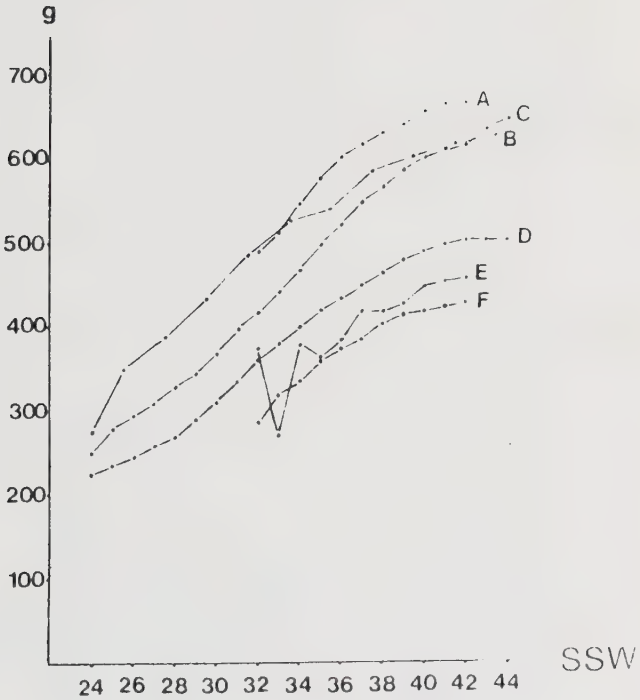


Abb. 4: Ergebnisse postpartaler Gewichtsbestimmungen der Plazenta durch sechs Untersucher (A: THOMSON 1968, B: HOSEMANN 1949, C: HENDRICKS 1964, D: GRUENWALD 1961, E: GARROW 1970, F: WINICK 1967)

Auffällig ist, besonders in der Spätschwangerschaft, das Auseinanderweichen zweier Gruppen von jeweils drei Plazentagewichts-Kurven. Die Differenz scheint erklärbar durch die von den Autoren angegebenen unterschiedlichen Methoden der Aufbewahrung und Präparation der Plazenten bis zur Wägung und Messung: Während THOMSON (1969), HOSEMANN (1949) und HENDRICKS (1964) Eihäute und Nabelschnurreste an den Plazenten beließen und auch keine Manipulationen unternahmen um das Restblutvolumen in den Plazenten zu verringern, wurden von GARROW (1970), GRUENWALD (1971) und WINICK (1967) Eihäute und Nabelschnur entfernt. WINICK entfernte darüber hinaus durch Kompression einen Teil des zurückgebliebenen Blutes aus den Nachgeburten. Ob und gegebenenfalls wie das Restblut in den Plazenten bestimmt wurde, geht nicht aus allen Untersuchungen klar hervor, weiterhin existieren unterschiedliche Angaben über die von der Entbindung bis zur Gewichtsbestimmung verstrichene Zeit. LEMTIS wies 1974 an 65 unausgewählten Plazenten nach, daß selbst bei optimalen Aufbewahrungsbedingungen eine Plazenta innerhalb von 48 Stunden durchschnittlich 10% ihres Geburtsgewichtes verliert. Besonders bei Entbindung am beginnenden Wochenende und Wägung und Aufarbeitung der Nachgeburt am Montag, wie vielfach üblich, erscheint eine Korrektur der ermittelten Meßwerte unumgänglich. Letztlich sind nur durch Standardisierung der Sammlungs- und Aufbewahrungsbedingungen sowie durch genaue Festlegung, ob und welche Anhänge zu belassen sind, vergleichbare Plazentagewichtskurven zu erhalten.

Auf eine andere wesentliche Einschränkung der Aussagekraft von Wachstumskurven des Plazentagewichtes im Verlauf der Schwangerschaft hat KLOOSTERMAN 1965 hingewiesen: Untersuchungen, die sich auf das postpartal erhobene Plazentagewicht beziehen, sind zwangsläufig Querschnittuntersuchungen. Sichere Aussagen im Sinne einer Plazenta-"Normgewichtskurve" sind nur für termingerecht

geborene Neugeborene von zeitentsprechendem Gewicht ohne belastende Schwangerschaftsanamnese der Mutter möglich.

Bei der Einbeziehung von Plazentagewichten Frühgeborener oder von small-for-date Kindern läuft der Untersucher Gefahr, durch ein zu heterogenes Kollektiv keine korrekte Aussage über ein Normalgewicht der Plazenta in den einzelnen Wochen der frühen und mittleren Schwangerschaft treffen zu können. Die Ursachen der Frühgeburtlichkeit sind vielschichtig und können nicht Gegenstand dieser Arbeit sein, es sei hier nur die von KLOOSTERMAN (1965) aufgestellte Hypothese angeführt, daß größere Plazenten eine längere Schwangerschaftsdauer ermöglichen als kleine. Läßt man diese, aus Betrachtungen des Plazentagewicht-Kindsgewicht-Verhältnisses abgeleitete Annahme zu, so muß man in einer durch postpartale Messungen ermittelten Plazentagewichtskurve mit einer Verschiebung der Mittelwerte des Plazentagewichtes zu niedrigeren Werten um so eher rechnen, je früher die Schwangerschaft beendet wurde. Eine Korrektur dieses Fehlers erscheint nicht möglich, solange man sich in der Methode auf querschnittmäßig erhobene Daten beschränkt.

Eine Annäherung an die Normbereiche der Plazentagröße verspricht jedoch die längsschnittartige Untersuchung von Schwangeren in Abständen während des gesamten zweiten und dritten Trimenon unter Ausschluß sowohl von Müttern mit anamnestischen Risikofaktoren, die einen Einfluß auf das kindliche Wachstum haben können (wie z.B. diabetische Stoffwechsellage, Gestosen, Nikotinabusus), als auch von Schwangerschaften mit retrospektiv pathologischem Verlauf (besonders bei intrauterinem Wachstumsrückstand).

Weniger deutlich als die Differenzen der Absolutwerte der Plazentagewichtskurven sind die Unterschiede in den

Wachstumsgeschwindigkeiten, ausgedrückt durch die Steigungen der Kurven. Alle Autoren konstatieren ein rasches, die Wachstumsgeschwindigkeit des Feten übertreffendes Wachstum in der Frühschwangerschaft (GRUENWALD 1963) sowie eine weitgehend lineare Zunahme des Plazentagewichtes im zweiten und in der ersten Hälfte des dritten Trimenon. Über die Wachstumsverhältnisse der Plazenta jenseits der 35. Schwangerschaftswoche liegen divergente Ergebnisse vor (Tab. 1).

Untersucher	Jahr	Angegebenes Ende der Plazentagewichtszunahme
HOSEMANN	1949	48. SSW
GRUENWALD	1961	40. SSW
HENDRICKS	1964	40. SSW
WINICK	1967	40. SSW
THOMSON	1969	Jenseits der 40. SSW (Bei Einteilung in Gruppen nach dem Kindsgewicht jedoch kein Wachstum nach der 35. SSW)
BUSCH	1972	40. SSW
SCOTT	1972	38. SSW (Bei Ausschluß von diabetischen Müttern und Rhesus-Inkompatibilitäten)

Tab. 1: Angaben über den Endpunkt der Plazentagewichtszunahme bei verschiedenen Autoren

WINICK et al. (1967) führten an Plazenten aus verschiedenen Schwangerschaftswochen Bestimmungen des Gesamtprotein-, RNA- und DNA-Gehaltes durch und setzten die ermittelten Werte zum Plazentagewicht in Beziehung. Sie fanden eine proportionale Zunahme von Gesamtgewicht, Protein und RNA bis zum Termin, jedoch ein Sistieren des DNA-Gehaltes bei einem Plazentagewicht von 300 g bzw. einem fetalen Gewicht von etwa 2300 g und schlossen daraus, daß die Zellteilung in der menschlichen Plazenta etwa einen Monat vor dem Termin endet, das Organ in den letzten vier Schwangerschaftswochen also nur noch durch Vergrößerung des vorhandenen Zellmaterials wächst.

1.2.2 Plazentagewicht und Kindsgewicht

1925 veröffentlichten ADAIR und THELANDER die Ergebnisse einer Untersuchung, bei der sie Gewicht, Volumen und uterine Haftfläche der Plazenten sowie die Quotienten aus Plazentagewicht und Geburtsgewicht des Kindes in rund 400 Fällen bestimmt hatten. Hierbei differenzierten sie zwei Gruppen von Neugeborenen, die der reifen und termingeborenen einerseits und der "prematures" andererseits, wobei letztere Gruppe nach heutiger Sicht sowohl die echten Frühgeborenen als auch die zu früh geborenen dystrophen Kinder (small-for-date babies) umfaßte.

Für das Normalkollektiv ermittelten die Autoren eine enge Korrelation zwischen Plazentagewicht und Kindsgewicht, während in der Gruppe der "prematures" die Korrelation bei höherem spezifischen Gewicht der Plazenta deutlich geringer war. Die Erklärung hierfür ist möglicherweise methodischer Art und in der Inhomogenität der untersuchten Gruppe zu suchen. THOMSON fand 1969 keine Veränderung des Quotienten aus Plazenta- und Kindsgewicht für das Kollektiv der small-for-date babies. Von den meisten Autoren wird eine deutliche Abhängigkeit

von beiden Gewichten angegeben (HOSEMANN 1947, MCKEOWN 1953, KLOOSTERMAN 1954, GRUENWALD 1961 und 1963, ZSCHIESCHE 1963, THOMSON 1969, GARROW 1970, HIRVONEN 1971, AUINGER 1974), so daß heute allgemein der Plazenta-Kindsgewicht-Index als klassisches Beispiel einer guten Korrelation betrachtet wird. Lediglich KLOOSTERMAN gelangt in späteren Arbeiten (1965 und 1970) zu dem Schluß, daß ein geringes Plazentagewicht nicht mit einem niedrigen Kindsgewicht einhergehen muß und umgekehrt. Größere oder auch multiple Infarkte der Plazenta, die mögliche Ursachen für einen Maturitätsrückstand des Organs und damit der Entwicklung eines dystrophen Feten darstellen können, rufen ein Ansteigen des Plazentagewichtes bei gleichbleibendem oder geringerem Volumen hervor, während das Geburtsgewicht des Mangelgeborenen im Vergleich zur Norm zu niedrig ist. KLOOSTERMAN stellte eine dadurch bedingte Erhöhung des Quotienten aus Plazenta- und Kindsgewicht um mehr als 10 % fest.

GRUENWALD (1963), der für Plazentagewicht und Kindsgewicht eine bessere Korrelation ermittelte als für Plazentagewicht und Schwangerschaftswoche, muß bezüglich der Plazentagröße einschränken, daß diese nur in extremen Fällen das Kindsgewicht beeinflußt. SCOTT und JORDAN, die 1972 die Ergebnisse einer retrospektiven Untersuchung veröffentlichten, in der Gewicht und Morphologie der Plazenten mangelgeborener Kinder hinsichtlich ihrer Aussagekraft für die Diagnose der Plazentainsuffizienz erfaßt wurden, ermittelten als aussagekräftigsten Faktor für die morphologische Aussage über die Plazenta des Mangelgeborenen ein Plazentagewicht unterhalb der zehnten Perzentile einer Normgewichtskurve. DÖRSTE (1976) erhielt eine gesicherte Beziehung zwischen hypertrophen reifen Neugeborenen und einem Plazentagewicht über 600 g.

Von einigen Autoren wird die Korrelation zwischen Ge-

burtsgewicht des Kindes und Plazentagewicht dahingehend gedeutet (MCKEOWN 1953, ADAIR 1925), daß das Plazentagewicht als Ausdruck der plazentaren Reifung der limitierende Faktor für die kindliche Gewichtsentwicklung sei.

Zu einem gegensätzlichen Schluß gelangte HOSEMANN 1947 und 1949 durch eigene Untersuchungen, in denen er Gruppen von Plazentagewichten bildete und ihnen die entsprechenden Geburtsgewichte zuordnete und umgekehrt. Aus der engeren Zuordnung der Plazentagewichte zu den Kindsgewichtsgruppen folgerte HOSEMANN, daß das kindliche Gewicht in Grenzen determiniert sei und sich zu jedem Feten eine seiner Größenzunahme entsprechende Plazenta entwickele. Abweichungen durch äußere Einflüsse sollen sich nach Meinung des Autors in einem Zurückbleiben des Plazentagewichtes äußern.

In den letzten beiden Jahrzehnten ist die Frage, ob die Plazenta den Feten in seiner Entwicklung limitiere oder umgekehrt, hinter der Untersuchung der einzelnen plazentaren Faktoren, die insbesondere die Entwicklung dystropher Feten bewirken können, zurückgetreten.

1.2.3 Plazentagewicht, Parität und Kindsgeschlecht

Ein Ansteigen des Plazentagewichtes und auch des Kindsgewichtes mit der Parität wird von mehreren Autoren (MCKEOWN 1953, KLOOSTERMAN 1954, ZSCHIESCHE 1963, HIRVONEN 1971) beschrieben. ZSCHIESCHE gibt einen durchgehenden Anstieg der Mittelwerte von Plazentagewicht, Blutgehalt der Plazenta, Eihautgewicht und Nabelschnurgewicht bis zur IV. Parität an. Der Quotient aus Plazenta- und Kindsgewicht erfährt nach HIRVONEN infolge der im Verhältnis gleich großen Erhöhung beider Gewichte keine Veränderung. HENDRICKS (1964) beschreibt

eine Häufung höherer Plazenta- und Kindsgewichte bei männlichen Neugeborenen. DÖRSTE (1976) erkannte eine Tendenz von männlichen Neugeborenen zu höheren Plazentagewichten, ohne eine Signifikanz sichern zu können.

1.2.4 Plazentavolumen

Untersuchungen der Plazentafläche bzw. des -volumens post partum liegen nur in geringer Zahl vor. HAMILTON und GIRMES (1970) geben ein lineares Ansteigen des Quotienten aus Plazentadurchmesser und Kindsgewicht vom dritten Schwangerschaftsmonat bis zum Ende der Schwangerschaft an. ADAIR und THELANDER (1925) ermittelten für ein Normkollektiv sowie die Gruppe der "prematures" folgende Mittelwerte:

Meßgröße	Normkollektiv	"prematures"
Volumen	460 ml	286 ml
Gewicht	465 g	297 g
Oberfläche	244 cm^2	165 cm^2
spez. Gewicht	1.o11	1.o38

Tab. 2: Mittelwerte einiger Parameter der Plazentagröße (nach ADAIR und THELANDER 1925)

BENDER (1973) verglich morphometrisch 14 Plazenten von durch Rhesus-Inkompatibilität komplizierten Schwangerschaften mit zehn "normalen" Plazenten und ermittelte in der Normalgruppe Volumina (fixiert) zwischen 380 und 480 ml, in der Gruppe der Rhesus-Inkompatiblen Volumina zwischen 395 und 790 ml.

1.3 Metrische Untersuchungen der Plazenta mittels Ultraschall

Zwei Fragestellungen sind bei der intrauterinen Darstellung und Vermessung der Plazenta zu unterscheiden: Die wissenschaftlich-theoretische Fragestellung, wie die den bisherigen Querschnittuntersuchungen durch postpartale Gewichtsbestimmungen von Plazenten verschiedener Schwangerschaftswochen immanenten Fehler zu umgehen seien. Die Biometrie der Plazenta durch Vermessung sonographischer Schnittbilder ermöglichte Längsschnittuntersuchungen durch zumutbar häufig wiederholbare Messungen im Verlauf der Schwangerschaft und somit die Ermittlung des tatsächlichen Wachstums innerhalb der Einzelschwangerschaft. HELLMAN et al. sowie BLEKER et al. entwickelten zwei verschiedene Modelle zur intrauterinen Volumetrie der Plazenta, auf deren Grundzüge und Ergebnisse weiter unten eingegangen wird.

Von anderen Autoren wurde dagegen die Frage nach der klinischen Relevanz der Plazentabiometrie in den Vordergrund ihrer Studien gestellt: HOLLÄNDER und MAST (1968) nahmen intrauterine Dickenmessungen der Plazenta vor, wobei sie die Meßwerte normaler Schwangerschaften und von Rhesus-Inkompatibilitäten verglichen. Ziel war es festzustellen, ob eine Beziehung zwischen dem Schweregrad der Erkrankung und der Plazentadicke bestand. Sie ermittelten für das Normalkollektiv eine kontinuierliche Dickenzunahme des Organs vom fünften bis zum neunten Schwangerschaftsmonat. Nach dem neunten Monat beobachteten sie eine leichte Dickenabnahme. Unter Berufung auf HOSEMANN (1949) nahmen die Autoren dennoch eine Zunahme der Plazentagröße jenseits der 35. Schwangerschaftswoche an: " Wenn man nun aber annimmt, daß der Uterusinhalt auch nach der 35. Woche weiterhin kontinuierlich zunimmt, so kann daraus eine gewisse "Auswalzung" der Plazenta resultieren, d.h. daß sie jetzt auf Kosten der Dicke nur noch der Fläche nach wächst." Offenbleiben mußte die Fra-

ge, ob eventuell eine Verminderung der Durchblutung (zusätzliche) Ursache der Dickenabnahme sei. Hinsichtlich der klinischen Fragestellung ergaben sich Korrelationen zwischen dem Schweregrad des Morbus haemolyticus neonatorum und der sonographisch ermittelten Plazentadicke und die Beobachtung, daß die Zunahme der Plazentadicke der Ausbildung eines Hydrops fetus vorausging. Im Vergleich der intrauterinen Meßwerte mit denen nach Ausstoßung der Plazenta lagen die ersteren um rund 40% höher (mittlere Dicke 3,6 bis 3,8 cm in utero gegenüber 2,7 cm ausgestoßen).

SCHLENSKER (1971) berichtete über ein Dickenwachstum des Organs bis zur 36./37. Schwangerschaftswoche, dann sei mit im Mittel 3,6 cm die maximale Plazentadicke erreicht. Auch er stellte eine geringgradige Abnahme der Dicke in den letzten Wochen der Schwangerschaft fest (Abb. 5).

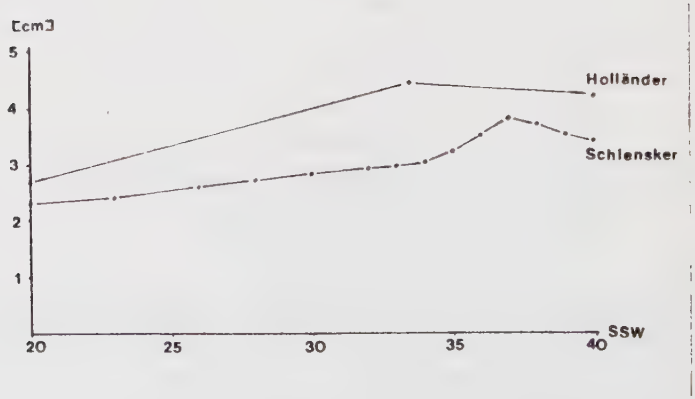


Abb. 5: Plazentadicke im Verlauf der Gravidität nach HOLLÄNDER 1968 und SCHLENSKER 1971

Der von HELLMAN et al. 1970 vorgestellten Studie über das intrauterine Volumenwachstum der Plazenta liegt ein vereinfachendes geometrisches Modell der Plazenta zugrunde (Abb. 6).

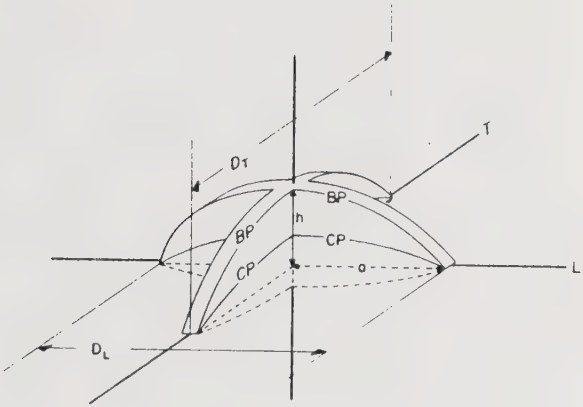


Abb. 6: Geometrisches Modell der Plazenta (nach HELLMAN 1970). CP - Chorionplatte einer konvex-konkaven Plazenta; die gestrichelten Linien stellen die Chorionplatten einer plankovexen bzw. bikonvexen Plazenta dar; D_L - Längsdurchmesser; D_T - Querdurchmesser; a - Radius der beiden Durchmesser; h - Plazentadicke

Nach mehreren orientierenden Ultraschall-Schnittbildern wurden das Längs- und Querschnittbild ausgewählt, in denen das Organ in seiner maximalen Länge bzw. Breite dargestellt war, wobei Längs- und Querschnittbild zwei senkrecht aufeinander stehende Ebenen abbilden mußten. Aus diesen beiden Bildern konnten die Meßwerte für den Längs- und Querdurchmesser sowie die Dicke abgenommen werden. Die Untersucher unterschieden drei Typen von Plazenten:

plankonvexe, konvex-konkave und bikonvexe. Je nach der Zuordnung der Einzelplazenta zu einer der genannten Gruppen gingen die erhobenen Meßwerte in eine von drei Volumenberechnungsformeln ein. Diese Volumenberechnung wurde bei 207 Schwangeren ohne Risikofaktoren und Auffälligkeiten zwischen der 12. und 42. Schwangerschaftswoche durchgeführt, wobei jede Patientin allerdings nur einmal untersucht wurde. Der Charakter einer Querschnittuntersuchung blieb mithin erhalten. Zur Überprüfung der Genauigkeit der Methode wählten die Untersucher fünfzehn Plazenten aus Kaiserschnitten bzw. Hysterotomien aus, bei denen sie unmittelbar nach der Lösung die Eihäute entfernten, die Nabelschnüre unterbanden und dann das Gewicht und die Verdrängung in einem Meßzylinder bestimmten. Anschließend wurde das Organ flach ausgebreitet und, analog der Vermessung der Ultraschall-Schnittbilder, Längs- und Querdurchmesser sowie die maximale Dicke ermittelt. Anhand dieser Daten wurde ebenfalls eine Volumenberechnung durchgeführt. Aus dem Verhältnis dieses postpartal errechneten Volumens zum "tatsächlichen" Volumen, ermittelt durch Verdrängung, entnahmen die Autoren einen Korrekturfaktor für die sonographisch bestimmten Volumina. Das anhand des geometrischen Modells bestimmte Volumen betrug im Durchschnitt 85% (63 bis 104%) des "tatsächlichen" Rauminhaltes. Aufgrund dieser Feststellung korrigierten die Autoren die aus den Sonogrammen errechneten Meßwerte mit dem Faktor 1,15. Aus dem Vergleich der korrigierten Ultraschall-Schnittbild-Volumina mit den postpartal durch Verdrängung bestimmten folgerten sie, daß die Plazenta unter und nach der Geburt durchschnittlich 37% (14 bis 57%) ihres Volumens verliert, da die sonographisch bestimmten Werte mit einer Ausnahme sämtlich höher lagen. In Tabelle 3 und in Abbildung 7 sind die Mittelwerte und die Standardabweichungen des Plazentawachstums in den Monaten der Schwangerschaft dargestellt. Diese Wachstumskurve, die eine Summation von querschnittmäßig erhobenen Einzeldaten verschie-

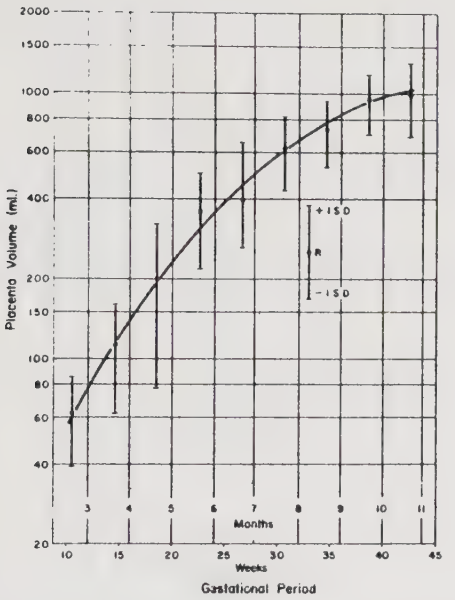


Abb. 7: Mittelwerte des Plazentavolumens sowie einfache Standardabweichung und angeglichene Wachstumskurve anhand von Einzelmessungen an 207 Schwangeren in verschiedenen Schwangerschaftswochen (nach HELLMAN 1970)

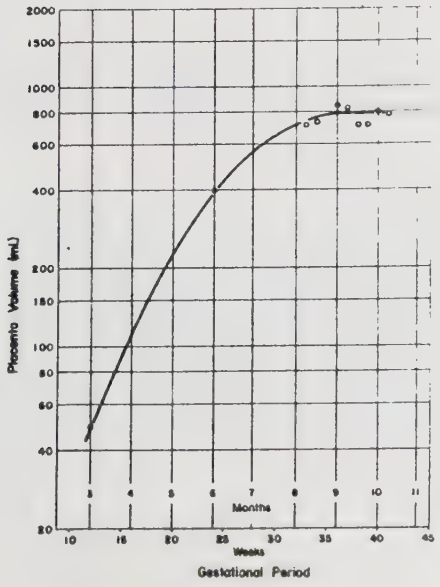


Abb. 8: Wachstumsverlauf einer Einzelplazenta anhand von zehn Messungen im Verlauf der Schwangerschaft (nach HELLMAN 1970)

dener Schwangerer darstellt, postuliert ein - wenn auch geringer werdendes - Wachstum über die 40. Schwangerschaftswoche hinaus. Dieses Ergebnis steht der von den gleichen Autoren durch zehn Einzelmessungen im Verlauf derselben Schwangerschaft erstellten Wachstumskurve einer Einzelplazenta gegenüber (Abb. 8).

Lunar-monat	Anzahl der Fälle	Volumen Mittelwert (ml)	Standardabweichung absolut (ml)	Standardabweichung %
3	5	63	22	35
4	16	111	49	44
5	15	197	121	61
6	27	359	140	39
7	29	400	137	34
8	31	629	194	31
9	28	736	208	28
10	38	956	252	26
11	18	994	302	30

Tab. 3: Mittelwerte des Plazentavolumens in den einzelnen Schwangerschaftsmonaten (nach HELLMAN 1970)

Zu divergenten Ergebnissen gelangten BLEKER et al. 1977. Im Gegensatz zu HELLMAN führten sie eine Längsschnittuntersuchung an zwölf Patientinnen ab der 23. Schwangerschaftswoche durch. Nachdem die gleichen Autoren in einer früheren Arbeit (1975) keine Korrelation zwischen der flächenhaften Vermessung von Einzelschnittbildern der Plazenta und den postpartal bestimmten Plazentagewichten

gefunden hatten, legten sie der Volumenbestimmung ein geometrisches Modell zugrunde: Ein Längs- und drei Querschnittbilder der Plazenta (Abb. 9) wurden photo-

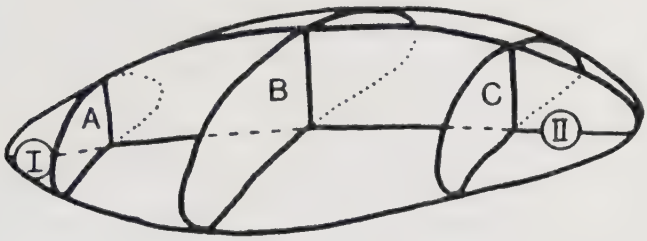


Abb. 9: Plazentamodell aus einem Längs- und drei Querschnittbildern (A,B,C); I und II - "Pole" der Plazenta (nach BLEKER et al. 1977)

graphisch festgehalten, die Konturen von Hand nachgezeichnet und die Flächen der vier Schnitte mit einer graphischen Tafel in Verbindung mit einem Prozeßrechner kalkuliert. Da die Schnittebenen der drei Querschnitte mit der Längsschnittebene bekannt und markiert waren, konnte aus den Flächen dieser vier Schnitte das von ihnen begrenzte Plazentavolumen errechnet werden. Das Volumen der beiden "Pole" (I und II in Abb. 9) wurde aus Grundfläche und Höhe geschätzt und hinzuaddiert. Die Genauigkeit der Methode überprüften die Autoren, indem sie zehn Plazenten postpartal in der beschriebenen Weise schnitten, die Flächen der Einzelschnitte bestimmten und analog der Berechnung der Ultraschallschnitte die Kalkulation des Volumens durchführten. Bei der Überprüfung durch anschließende Verdrängungsmessung fanden sie einen Korrelationskoeffizienten zwischen beiden Werten von 0,98.

In Abb. 10 sind die den Einzelwerten angenäherten Plazentawachstumskurven von vier der zwölf untersuchten Patientinnen dargestellt. In zehn Fällen erreichte das Volumen einen Maximalwert bereits einige Zeit vor dem Ende der Schwangerschaft, nur bei zwei Patientinnen (in Abb. 10 nicht dargestellt) wurde ein kontinuier-

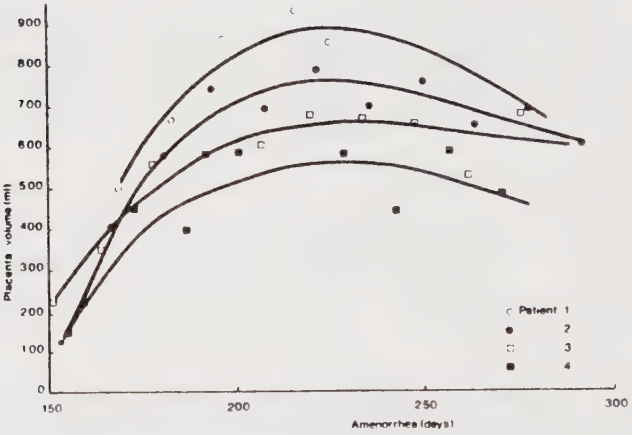


Abb. 10: Wachstumsverlauf von vier Einzelplazenten (nach BLEKER et al. 1977)

liches Wachstum bis zum Termin gefunden. Beim Vergleich des postpartal bestimmten Plazentavolumens mit dem zeitlich letzten ultraschall-bestimmten Volumen ergab sich bei zehn Plazenten ein um durchschnittlich 27% (2 bis 61% höherer Meßwert aus der sonographischen Bestimmung, in zwei Fällen lagen die Ultraschall-Werte um fünf bzw. 14% niedriger. Ein Vergleich der postpartal bestimmten mit den aus den Wachstumskurven extrapolierten Volumina ergibt eine geringfügige Vergrößerung des Fehlers (eigene Berechnungen). Der Korrelationskoeffizient des postpartalen und des letzten sonographisch bestimmten Volu-

mens beträgt 0,63, beim Vergleich mit dem extrapolierten Volumen errechnet man einen Koeffizienten von 0,56. Diese nur unzureichende Übereinstimmung intrauteriner und postpartaler Messungen wird von den Autoren auf den kaum kalkulierbaren Blutverlust der Plazenta nach der Lösung zurückgeführt. Die erkennbare Abnahme des Volumens gegen Ende der Schwangerschaft zeigt zeitlich ungefähr den gleichen Verlauf wie die von HOLLÄNDER und SCHLENSKER berichtete Dickenabnahme jenseits des neunten Schwangerschaftsmonats. Da größere Erfahrungen an pathologischen Kollektiven - small-for-gestational-age Feten oder Schwangerschaften bei diabetischer Stoffwechsellage der Mutter - fehlten, mußten die Autoren auf eine Wertung der intrauterinen Volumenbestimmung hinsichtlich ihrer klinischen Relevanz verzichten.

2. ZIEL UND FRAGESTELLUNG DER VORGELEGTEN UNTERSUCHUNG

Wie im vorangegangenen Kapitel gezeigt werden konnte, ist sowohl das Plazentagewicht in den einzelnen Schwangerschaftswochen als auch das Verhältnis von Plazenta- und Kindsgewicht Gegenstand zahlreicher postpartaler Untersuchungen gewesen, die bezüglich des Endpunktes der Plazentaentwicklung teilweise divergente Ergebnisse erbracht haben. Von BLEKER et al. wurde der Weg der Längsschnittstudie des plazentaren Volumens aufgezeigt.

Wie CAMPBELL et al. 1973 zeigen konnten, gelingt bei einfachen geometrischen Körpern vergleichbaren Organen wie der Harnblase die sonographische Bestimmung ihres Volumens mittels eines simplen Modells: Durch Bestimmung nur eines Längs- und eines Querdurchmessers und deren Verrechnung waren sie in der Lage, genaue Angaben über die intrauterine kindliche Urinproduktion und den Rhythmus der Harnblasenentleerung zu machen.

Die menschliche Plazenta dagegen ist nur bedingt geometrischen Modellen vergleichbar. Zudem fehlen in der Literatur vergleichende Angaben zum sonographisch ermittelten Größenwachstum der Plazenta bei gleichzeitiger Bestimmung der jeweiligen Größe des Feten; BLEKER veröffentlichte lediglich die Geburtsgewichte der Kinder, deren Plazenten intrauterin vermessen worden waren. Bei dem fraglichen Zusammenhang zwischen Plazentawachstum und fetaler Größenzunahme erschien eine Untersuchung sinnvoll, in der längsschnittartig mehrere Parameter des plazentaren Wachstums in verschiedenen Schwangerschaftswochen bestimmt werden sollten, wobei gleichzeitig, wie routinemäßig an der Universitäts-Frauenklinik Düsseldorf üblich, fetaler biparietaler Durchmesser und Thorax-Querdurchmesser als Kriterien des fetalen Wachstums sonographisch zu erheben waren.

KRATOCHWIL (1974 und 1975) hält die Bestimmung von Größe und Volumen der Plazenta für die Vorhersage des Funktionszustandes von geringem Wert. In einigen postpartalen Studien wie der Arbeit von SCOTT und JORDAN (1972) wurde dagegen das Plazentagewicht als aussagekräftigster Parameter für die retrospektive Diagnose der Plazentainsuffizienz ermittelt.

Die vorliegende Untersuchung setzt sich daher mit folgenden Fragestellungen auseinander:

1. Welchen Wachstumsverlauf nimmt die Plazenta während der Schwangerschaft? Wird der Gipfel des Plazentawachstums bereits vor dem voraussichtlichen Geburtstermin erreicht?

2. Welche Beziehungen bestehen zwischen der Größenzunahme des Organs und der fetalen Entwicklung?

3. Ist die Berücksichtigung weiterer Parameter neben dem Plazentavolumen, wie der Oberfläche des Organs und der uterinen Haftfläche, sinnvoll, oder sind diese völlig mit dem Volumen korreliert?

4. Gibt es Kriterien plazentarer Größenzunahme, die Hinweise auf eine Insuffizienz der Nutrition des Feten liefern?

5. Zeigen sich in der Gruppe der Schwangerschaften bei diabetischer Stoffwechsellage der Mutter Abweichungen vom "normalen" Verlauf?

3. METHODE UND UNTERSUCHTE SCHWANGERSCHAFTEN

3.1 Physikalische und technische Grundlagen

3.1.1 Ultraschallwellen und ihre Eigenschaften in verschiedenen Medien

Unter Ultraschallwellen versteht man elastische Wellen in deformierbaren Medien. In festen Medien treten sie als Longitudinal- und Transversalwellen auf, in Flüssigkeiten und Gasen dagegen nur als Longitudinalwellen, weil die zur Weiterleitung von Transversalwellen erforderlichen Schubkräfte fehlen.

Der Ultraschallbereich umfaßt das Frequenzspektrum oberhalb der Hörschwelle ($2 \cdot 10^4$ Hz) bis maximal 10^9 Hz. Für die medizinische Diagnostik von Bedeutung ist jedoch lediglich der Bereich von 1 bis 15 MHz ($1 \cdot 10^6$ bis $15 \cdot 10^6$ Hz).

Schallfrequenz, Wellenlänge und Ausbreitungsgeschwindigkeit sind über die Beziehung

$$c = \lambda \cdot \nu$$

Ausbreitungsgeschwindigkeit = Wellenlänge . Frequenz

miteinander verknüpft. Ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schalls bekannt, kann durch Messung der Schalllaufzeit zwischen zwei Punkten die Entfernung dieser Punkte bestimmt werden (Weg gleich dem Produkt aus Geschwindigkeit und zur Zurücklegung benötigter Zeit). Diese Zeit-Weg-Transformation wird auch durch das Echolot-Verfahren genutzt.

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Schallwellen ist stark abhängig vom Medium der Ausbreitung (Tab. 4).

Medium	Ausbreitungs-geschwindigkeit (m/sec)	Akustische Impedanz ($g/cm^2 \cdot sec \cdot 10^5$)
Luft	331	0,000413
Wasser	1496	1,49
Fett	1476	1,37
Muskel	1586	1,66
Leber	1570	1,66
Gehirn	1521	1,58
Knochen	3360	6,20

Tab. 4: Akustische Eigenschaften verschiedener Medien (nach HILZ 1969)

Schallfrequenz und Wellenlänge stehen über die eingangs angegebene Beziehung in einem umgekehrt proportionalen Verhältnis: Mit steigender Frequenz wird die Wellenlänge kleiner. An die Wellenlänge ist ihrerseits wieder die Auflösung, i.e. der kleinstmögliche Abstand zweier Punkte, die noch getrennt dargestellt werden können, gebunden. In Tab. 5 sind die Wellenlängen bei verschiedenen Schallfrequenzen für eine Schallausbreitungsgeschwindigkeit von 1500 m/sec - also weitgehend den Verhältnissen im Medium Wasser entsprechend - wiedergegeben.

Mit der Anwendung von höheren Frequenzen in der Ultraschalldiagnostik wird also die Auflösung besser; dieser Vorteil muß jedoch mit einer geringeren Eindringtiefe in das zu untersuchende Gewebe erkauft werden: Je kleiner die Wellenlänge, desto größer die Dämpfung bzw. Absorption im Gewebe. Die Dämpfung steigt etwa linear mit der Frequenz an; eine Ausnahme bildet wiederum das Knochengewebe, bei dem die Dämpfung quadratisch mit der Frequenz

Schallfrequenz (MHz)	Wellenlänge (mm)
1	1,5
2	0,75
10	0,15

Tab. 5: Schallfrequenz und Wellenlänge bei einer Schallausbreitungsgeschwindigkeit von 1500 m/sec

ansteigt. Die Angabe der Dämpfung erfolgt entweder in Dezibel (dB) als Verhältnis von Schallintensitäten, oder aber es wird die Halbwertschichtdicke angegeben, i.e. diejenige Strecke, nach deren Durchlaufen die eingesandte Schalleistung auf die Hälfte gedämpft ist (Tab. 6).

Medium	Halbwertschichtdicke (cm)
Luft	1,1
Wasser	410,0
Fett	3,8
Muskel	2,5
Leber	3,0
Gehirn	2,5
Knochen	0,23

Tab. 6: Halbwertschichtdicke in verschiedenen Medien für eine Frequenz von 1 MHz (nach HILZ)

Im Ultraschallschnittbild erscheint die Plazenta bei Anwendung von Frequenzen bis etwa 1 MHz und herkömmlicher Speicherbildtechnik als echofreie Zone (SCHLENSKER 1971); lediglich Randkonturen zum Uteruscavum hin sind sichtbar. Bei Benutzung höherer Frequenzen wird mit höherem Auflösungsvermögen eine gesprenkelte Binnenstruktur der Plazenta darstellbar.

Die Art der Ausbreitung von Schallwellen in inhomogenen Medien ist mit formalen Analogien zu Gesetzmäßigkeiten der Optik zu demonstrieren. In vergleichbarer Weise treten Phänomene wie Reflexion, Brechung, Streuung und Transmission auf. Nicht homogene Medien weisen in ihrem Inneren eine oder mehrere akustische Grenzflächen auf. Eine akustische Grenzfläche ist überall dort zu finden, wo zwei Medien unterschiedlichen Schallwellenwiderstandes (akustischer Impedanz) aneinanderstoßen. Die akustische Impedanz ist als das Produkt aus der Dichte (g/cm^3) und der Schallausbreitungsgeschwindigkeit (cm/sec) eines Mediums definiert und somit eine für das jeweilige Medium charakteristische Größe. Die Schallwellenwiderstandswerte einiger für die medizinische Diagnostik wichtiger Medien sind in Tab. 4 aufgeführt.

Beim Auftreffen von Schallwellen auf eine Grenzfläche zweier Medien unterschiedlichen Schallwellenwiderstandes wie z.B. der Grenzfläche zwischen Fruchtwasser und Amnion wird ein Teil dieser Schallwellen reflektiert, die übrigen passieren die Grenzfläche und breiten sich weiter aus. Es gilt das Reflexionsgesetz: Ein- und ausfallender Strahl stehen im gleichen Winkel zum Einfallslot, wobei beide Strahlen und das Einfallslot in einer Ebene liegen. Die Grenzflächen menschlichen Gewebes bieten dem einfallenden Strahl eine Vielzahl von Reflexionsebenen, so daß infolge diffuser Reflexion stets nur ein Teil der eingeschallten Energie zum Ausgangspunkt zurückkehrt.

Der Anteil der Schallwellen, der die akustische Grenzfläche passiert, erfährt eine Brechung beim Eintritt in das neue Medium. Nach dem SNELLIUS'schen Brechungsgesetz gilt

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2}$$

wobei α = Einfallswinkel, β = Brechungswinkel,
v_1 = Schallausbreitungsgeschwindigkeit im Medium 1; v_2 analog

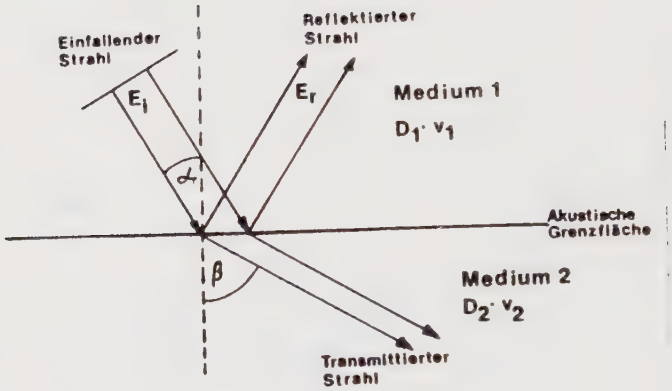


Abb. 11: Schematische Darstellung der Brechungsverhältnisse an der Grenzfläche zweier Medien unterschiedlichen Schallwellenwiderstandes;
E_i - Energie des einfallenden Strahls,
E_r - Energie des reflektierten Strahls

Für den Reflexionsgrad, i.e. das Verhältnis von reflektierter (E_r) zu einfallender (E_i) Energie, gilt die Formel:

$$\frac{E_r}{E_i} = \left(\frac{D_1 \cdot v_1 - D_2 \cdot v_2}{D_1 \cdot v_1 + D_2 \cdot v_2} \right)^2$$

wobei D_1 = Dichte (g/cm^3) des Mediums 1, D_2 analog;
$D_1 \cdot v_1$ = akustische Impedanz des Mediums 1, $D_2 \cdot v_2$ analog.

Führt man die Berechnung des Reflexionsgrades für eine

akustische Grenzfläche zwischen dem Medium 1 Gewebe (akustische Impedanz $D_1 \cdot v_1$ = 1,66 g/cm^{2}sec) und dem Medium 2 Luft (akustische Impedanz $D_2 \cdot v_2$ = 0,000413 g/cm^{2}sec) durch, so erkennt man, daß bei einer derart großen Differenz der Schallwellenwiderstände der Reflexionsgrad gegen 1 geht, d.h. die reflektierte Energie ist kaum geringer als die einfallende Energie. Dies erklärt die fast totale Reflexion an der Grenzfläche zwischen Gewebe und Luft. Aus der geburtshilflichen und gynäkologischen Sonographie sind z.B. die Schwierigkeiten bekannt, einen nicht graviden bzw. sehr früh in der Schwangerschaft befindlichen Uterus darzustellen: Luftgefüllte Darmschlingen liegen vor Uterus und Adnexen, breite "echodichte" Zonen zeigen die Grenzflächen von Darmwand und Darmlumen an; hinter diesen dichten Zonen sind kaum noch Echos auffindbar.

Für die praktische Anwendung bedeutet dies, daß stets für eine dichte, d.h. "luftfreie", Ankoppelung des Schallsenders an das zu untersuchende Gewebe gesorgt werden muß. In der geburthilflichen und gynäkologischen Diagnostik verwenden wir ein wasserlösliches Gel auf Gelatine-Basis (in Ausnahmefällen, z.B. bei Unverträglichkeit des beigemischten Formalins, auch Vaseline-Öl), das vor der Untersuchung auf die Haut der Patientin aufgetragen wird.

3.1.2 Wirkungsweise von Ultraschallgeräten

Die für die medizinische Diagnostik entwickelten Ultraschallgeräte arbeiten in der Erzeugung und im Empfang der hochfrequenten Schallwellen unter Ausnutzung des sog. piezoelektrischen Effektes: Bestimmte Kristalle (z.B. Quarze oder Lithiumsulfat, nach entsprechender Vorbehandlung auch andere keramische Stoffe wie Bariumtitanat oder Bleizirkonat) ändern bei Anlegen einer elektrischen Spannung ihre Form. Der Effekt ist umkehrbar, d.h. bei mechanischer Formänderung tritt an der

Kristalloberfläche eine elektrische Spannung auf (Abb. 12).

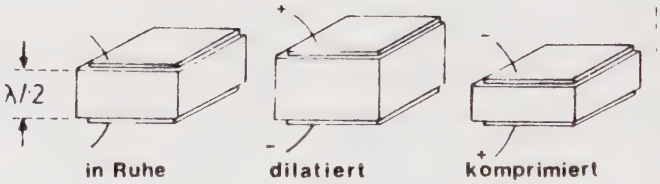


Abb. 12: Schematische Darstellung des piezoelektrischen Effekts. Links ein Quarz mit angelegten Platten eines elektrischen Feldes; kein Stromfluß = Ruhezustand. Mitte: Bei Anlegen einer elektrischen Spannung ändert der Kristall seine Form. Rechts: Wird durch mechanische Energie von außen eine Formänderung des Kristalls bewirkt, tritt an seiner Oberfläche eine elektrische Spannung auf. λ/2 = Schichtdicke des ruhenden Kristalls = halbe Wellenlänge der ausgesandten Ultraschallwellen

Eine Ultraschallsonde besteht daher im wesentlichen aus einem piezoelektrischen Kristall, der solange als Sender arbeitet, wie eine elektrische Wechselspannung mit hochfrequenter Phasenumkehr an ihn angelegt ist. Treffen den Kristall (reflektierte) mechanische Schwingungen (Empfänger), so entsteht eine elektrische Wechselspannung, die entsprechend verstärkt werden kann, um auf einem Kathodenstrahloszillographen aufgezeichnet zu werden. Ein- und derselbe Kristall kann also durch "Umschalten" sowohl als Ultraschallsender als auch als -empfänger verwendet werden.

Das Ultraschall-Echoverfahren wird auf verschiedenen Wegen ausgenutzt: Beim Impuls-Verfahren, nach dem die Geräte zur geburtshilflich-gynäkologischen Diagnostik arbeiten, werden kurze Schallimpulse von etwa einer Mikrosekunde Dauer in einer regelmäßigen Frequenz

(meist zwischen 500 und 1000 Impulse pro Sekunde) in das Gewebe geleitet. Diese Schallwellen werden an akustischen Grenzflächen nach den oben beschriebenen Gesetzmäßigkeiten reflektiert. Bei senkrechtem Auftreffen auf eine Grenzfläche kehrt ein Teil des Impulses zur Ultraschallsonde zurück und erzeugt am Kristall der Sonde eine Wechselspannung.

3.1.3 Eindimensionale Darstellung (A-Bild)

Die am piezoelektrischen Kristall entstandene Spannung wird verstärkt und an die Vertikal (Y-) Ablenkplatten einer Kathodenstrahlröhre angelegt (Abb. 13). Der in horizontaler Richtung über den Oszillographen laufende Elektronenstrahl wird durch diese Spannung entsprechend ihrer Stärke in vertikaler Richtung abgelenkt. Ist die Schallausbreitungsgeschwindigkeit in dem durchlaufenen Medium bekannt, ermöglicht eine Weg/Laufzeit-Eichung die

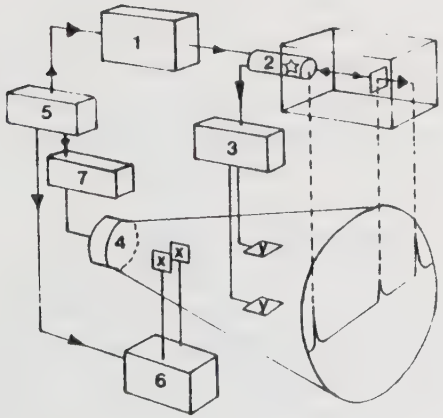


Abb. 13: Schematischer Aufbau eines Impuls-Ultraschallgerätes; 1 - Hochfrequenzoszillator, 2 - Schallgeber, 3 - Verstärker (y-Ablenkung), 4 - Kathodenstrahlröhre, 5 - Synchronisator, 6 - Kipp-Generator (x-Ablenkung), 7 - Zeitmarkengeber

Ermittlung des Abstandes der reflektierenden Schichten vom Ultraschallsender bzw. ihrer Abstände untereinander.

Das A-Bild ist somit eine Darstellung, in der aus der x-Achse die Tiefe der reflektierenden Schichten, aus der y-Achse der Grad der Reflexion an der jeweiligen Grenzschicht hervorgehen. Durch zusätzliches Mischen von Hilfsspannungen können Markierungspunkte zur Entfernungsmessung im A-Bild erzeugt werden, die nach Eichung der x-Achse die Bestimmung der Tiefe erlauben. Wegen der genauen Abgrenzung einzelner Echos voneinander sind sehr genaue Messungen möglich. Der Nachteil des Verfahrens liegt in der Zuordnung verschiedener Echos zu den jeweiligen Gewebestrukturen. Differenzierte Diagnostik ausschließlich aus dem A-Bild ist daher stets erfahrenen Untersuchern vorbehalten geblieben. Im medizinisch-diagnostischen Bereich sind Geräte mit nur eindimensionaler Darstellung mit Ausnahme von Spezialgebieten wie der Echoenzephalographie heute nicht mehr in Gebrauch.

3.1.4 Zweidimensionale Darstellung (B-Bild)

Die zweidimensionale Darstellung erleichtert die Zuordnung der vielfältigen, vom zu vermessenden Objekt reflektierten Ultraschallsignale. Das B-Bild entsteht gleichsam als eine Summe zahlreicher A-Bilder.

Um ein solches Schnittbild zu erhalten, muß der Schallsender relativ zum Untersuchungsobjekt bewegt, dieses gleichsam "abgetastet" werden. Hierbei ist sowohl eine Bewegung des Schallstrahlers senkrecht zur Schallrichtung (Translation) als auch eine Bewegung um eine Drehachse (Rotation) möglich (Abbildungen 14 und 15). Bei einem Großteil der handelsüblichen Geräte kommt eine Kombination von Winkelverschiebung und Parallelverschiebung des Ultraschallstrahlers zur Anwendung; diese Geräte werden als Compound-Scanner bezeichnet.

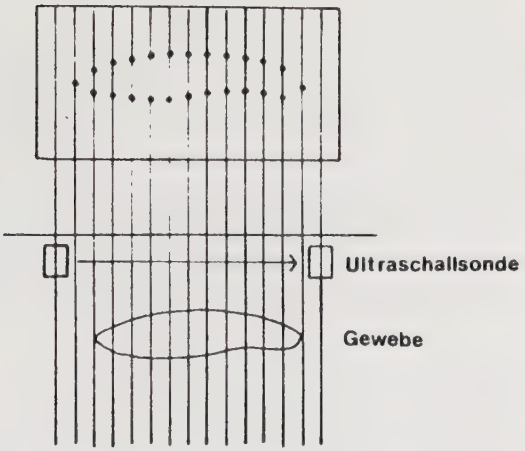


Abb. 14: Prinzip der linearen Schnittbilddarstellung: Eine einzelne Ultraschallsonde wird über die Oberfläche des zu untersuchenden Gewebes geführt. Die dabei empfangenen Signale werden auf einer Röhre gespeichert und ergeben ein stehendes zweidimensionales Schnittbild des untersuchten Gewebes

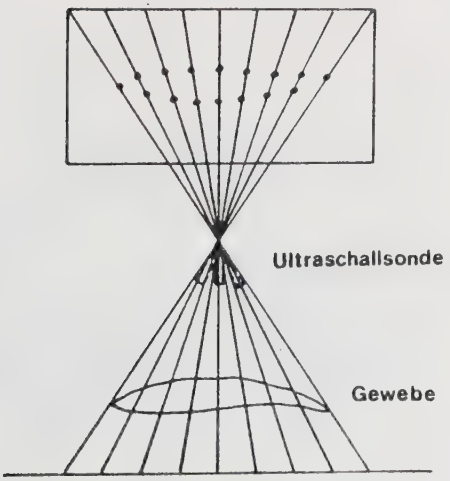


Abb. 15: Prinzip des Sector-Scan: Durch Rotation einer Ultraschallsonde um ihre Querachse werden Schallwellen unter verschiedenen Winkeln ausgesandt. Die empfangenen Signale können auf einer Speicherbildröhre dargestellt werden.

Der momentane Ort und die Ausrichtung des Schallkopfes werden elektronisch erfaßt und bestimmen die Richtung des Elektronenstrahls auf den Kathodenstrahloszillographen. Die gemessene Intensität des reflektierten Schalls dient zur Helligkeitssteuerung des Oszillographen. Da der Aufbau eines solchen "Compound"-Bildes mit von Hand geführter Ultraschallsonde einige Sekunden in Anspruch nimmt, müssen Teilbilder zwischengespeichert werden.

Bei einem anderen Verfahren ist die Darstellung von Bildfolgen möglich: Ein mit zwei Strahlern ausgestatteter Ultraschallkopf rotiert um seine Querachse, wobei für jeweils 180° Drehwinkel einer der Strahler als Ultraschallsender arbeitet. Die von ihm ausgesandten Schallwellen werden gegen einen Parabolspiegel gestrahlt und dort in ein Parallelbündel umgeformt (Abb. 16). Über eine Wasservorlaufstrecke und einen Kontaktfilm tritt dieses Schallwellenbündel in das zu untersuchende Gewebe ein.

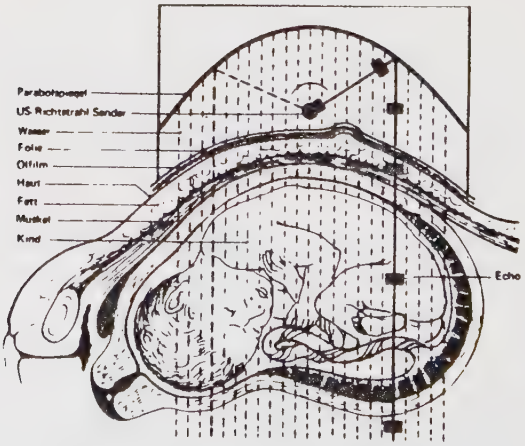


Abb. 16: Schematischer Aufbau des Real-time-Scanners VIDOSON (in Anlehnung an HANSMANN 1974)

Ebenfalls kontinuierliche Bildfolgen liefert der sog. Multielement-Scanner. Die Abtastung eines Querschnittes durch Verschieben des Ultraschallkopfes senkrecht zur Strahlrichtung wird hier durch eine Anordnung zahlreicher Schallköpfe in einer "Reihe" umgangen. In schneller Folge senden die Einzelsonden Schallimpulse aus bzw. sind als Echoempfänger geschaltet (Abb. 17).

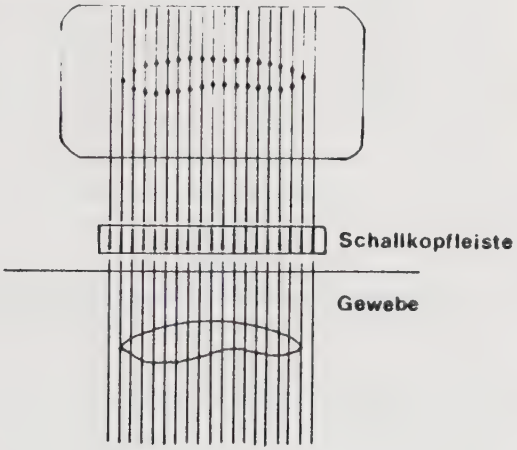


Abb. 17: Prinzip des Multielement-Scanners: Die Parallelverschiebung einer Sonde bei der linearen Schnittbilddarstellung (s. Abb. 14) ist durch die Anordnung zahlreicher Sonden in einer Reihe ersetzt. Die Sonden sind alternierend als Sender bzw. Empfänger geschaltet

Zum Teil noch in der Entwicklung befindlich sind Ultraschallgeräte, bei denen in einem Applikator eine Vielzahl kleinster Ultraschallsonden zusammengefaßt sind, so daß ein sektorförmiges Schnittbild entsteht (phased-array-System).

3.1.5 Grauwert- (Greyscale-) Technik

Das Prinzip der Grauwerttechnik besteht im Wesentlichen in einer verbesserten "Aufbereitung" der empfangenen Echos aus dem Körperinneren. Während die Speicherbild-

technik jedem Echo, das einen - festlegbaren - Schwellenwert in seiner Intensität überschreitet, lediglich einen Bildpunkt gleicher Intensität entsprechend seiner räumlichen Entfernung zur Ultraschallsonde zuordnen kann, wird bei der Grauwerttechnik jeder Leuchtfleck in seiner Helligkeit als Funktion der Intensität der reflektierten Ultraschallwelle gesteuert. Die Grauwerttechnik ermöglicht somit eine differenzierte Analyse von Gewebestrukturen, da auch verschiedene Bezirke, die sich in ihrer Dichte und damit in ihren akustischen Impedanzen nur gering unterscheiden, optisch voneinander abgehoben werden.

3.1.6 Mögliche Schäden durch Ultraschallwellen

Wirken Ultraschallwellen auf Gewebe ein, so treten mechanische und thermische Wirkungen auf.

Die thermische Wirkung ist Folge der inneren Reibung, bei der ein Teil der kinetischen Energie in Wärmeenergie umgesetzt wird. Sie ist abhängig von der Intensität der eingesandten Schallwellen und vom Betrag der Absorption im Gewebe; ihre Maxima liegen an den akustischen Grenzflächen: Je größer die Unterschiede in den Schallwellen - widerständen zweier angrenzender Medien, desto höher die Erwärmung. Dieser Effekt wird mit dem sog. therapeutischen Ultraschall ausgenutzt.

Die mechanischen Wirkungen beruhen auf den hohen Druckwechselschwankungen, die in Ausbreitungsrichtung der Welle periodisch auftreten. Die im Ultraschallbereich auftretenden Teilchenbeschleunigungen und Druckgefälle sind etwa 1000-mal größer als im Hörschallbereich. Im Rahmen der mechanischen Wirkungen wurde auch das Kavitationsphänomen als Ursache möglicher biologischer Wirkungen angesehen. Hierunter ist das Auftreten von Hohlräumen bei der Durchschallung gasfreier Flüssigkeiten zu verstehen. Molekülverbände werden in der Phase positiven Druckes

zerrissen und fallen in der darauffolgenden Phase der Druckumkehr wieder in sich zusammen, wobei hohe Energiespitzen auftreten. Dieses Phänomen ist besonders in Flüssigkeiten niedriger Viskosität bei Anwendung niedriger Schallfrequenzen und hoher Intensitäten zu beobachten. Bei den in der medizinischen Diagnostik zur Anwendung kommenden Intensitäten ist jedoch keine Kavitation zu erwarten (BEIER 1954).

Nach Bekanntwerden der durch Anwendung von Ultraschallwellen zur Therapie beobachteten Schädigungen beschäftigten sich verschiedene Untersucher sowohl in Tier- als auch in in-vitro-Experimenten mit den Problemen von Schädigungsmöglichkeiten bei verschiedenen Intensitäten und Einwirkungszeiten. LOCH (1976) faßte die über lange Zeit geführte Diskussion dahingehend zusammen, daß die verschiedentlich berichteten Veränderungen an Zellkulturen sämtlich nur durch hohe Schallintensitäten und lange Expositionszeiten hervorgerufen werden konnten. Diese werden jedoch bei Einsatz des Ultraschalls in der Diagnostik um ein Vielfaches unterschritten.

In der Ultraschall-Diagnostik wird überwiegend mit Impulsschall gearbeitet. Es konnte im Experiment gezeigt werden, daß erst bei Anwendung höherer Intensitäten als in der medizinischen Diagnostik üblich biologische Effekte meßbar werden. Auch FRY et al. (1978), die sich mit den Auswirkungen von Ultraschallwellen auf Mäuseembryonen sowie das Hodengewebe und die Ovarien dieser Versuchstiere befaßten, räumen ein, daß wesentlich höhere Intensitäten und Expositionszeiten notwendig sind, um biologische Wirkungen zu erhalten. Diese Wirkungen betreffen sowohl die in utero der Beschallung ausgesetzten Embryonen als auch die Nachkommen der Elterngeneration, deren Hodengewebe bzw. Ovarien zuvor beschallt worden waren. Die Autoren weisen insbesondere darauf hin, daß eine Studie, die sich mit den Auswirkungen der Beschallung auf die erste Generation der Nachkommen befaßt, keine Schlüsse auf mögliche Effekte in den nachfol-

genden Generationen zuläßt.

CARSON et al. (1978), die mit Hilfe einer Versuchsanordnung die tatsächlich abgegebenen Intensitäten verschiedener medizinisch-diagnostischer Ultraschallgeräte ermittelten, gelangen zwar zu dem Schluß, daß die Wahrscheinlichkeit einer Schädigung der untersuchten Patienten sehr gering einzuschätzen sei. Sie weisen jedoch insbesondere auf den Umstand hin, daß die für die meisten Ultraschallgeräte von den Herstellern angegebenen Intensitäten Mittelwerte über die Gesamtdauer des Einzelimpulses sind. Die tatsächlich auftretenden Spitzenintensitäten während eines Einzelimpulses können nach den Messungen der Autoren bis zum elffachen der Durchschnittsintensität betragen. Untersuchungen darüber, welchem dieser Intensitätswerte ein direkter Bezug zu möglichen biologischen Effekten zukommt, liegen bislang nicht vor.

Somit ist die Möglichkeit von Schädigungen bei Verwendung moderner diagnostischer Ultraschallgeräte als gering anzusehen. Es sollte jedoch auch weiterhin von nicht indizierten Beschallungen - insbesondere während der Organogenese - abgesehen werden.

3.2 Zusammensetzung des untersuchten Kollektivs

An der Universitäts-Frauenklinik Düsseldorf wurden in der Ultraschallabteilung in der Zeit zwischen Dezember 1976 und Oktober 1977 in 285 Fällen Plazenten von insgesamt 171 Schwangeren sonographisch dargestellt und aufgezeichnet.

Für die Untersuchung wurden ausschließlich Patientinnen mit einer Insertion der Plazenta an der Vorderwand des Uterus berücksichtigt. Wie von mehreren Autoren beschrieben und durch eigene Erfahrungen bestätigt, gelingt die vollständige Darstellung einer an der Hinterwand der Gebärmutter lokalisierten Plazenta nur selten. Infolge der hohen Absorption der Ultraschallwellen im Knochengewebe - die Halbwertschichtdicke (siehe 3.1.1) beträgt für eine Frequenz von 1 MHz 23 mm - sind jenseits von knöchernen Strukturen im Uterus nur "echolose" Zonen darstellbar (ABRAMOWSKY 1969). Mit fortschreitendem Schwangerschaftsalter werden immer größere Anteile der

Abb. 18: Auslöschphänomen: Hinter einem fetalen Arm (A) bzw. Bein (B) sind jeweils der Breite der Extremitäten entsprechende Areale der Hinterwandplazenta nicht darstellbar.

Uterushinterwand auf diese Weise vom fetalen Knochengewebe der sonographischen Darstellung entzogen (Abb. 18). Ebenso bereitet die Darstellung von tiefsitzenden oder den inneren Muttermund ganz oder teilweise überdeckenden Plazenten Schwierigkeiten. Erfahrungsgemäß sind derart lokalisierte Plazenten nur nach Anfüllung der mütterlichen Blase darstellbar: Durch die angefüllte Harnblase wird eine dem unteren Uterinsegment eng anliegende Wasservorlaufstrecke geschaffen, die optimale Durchtrittsbedingungen für Ultraschallwellen bietet; Totalreflexionen an Grenzflächen Gewebe/Luft werden vermieden.

18 aufgezeichnete Plazenten konnten nicht ausgewertet werden, da die Qualität und damit die Vermeßbarkeit einzelner Bilder nicht hinreichend gut war oder die Patientinnen unvorhergesehenerweise in auswärtigen Kliniken entbunden wurden. Somit gelangten 267 Plazenta-Schnittbildserien von 157 Schwangeren zur Auswertung. Die Gesamtzahl der sonographischen Schnittbilder betrug 4372, von jeder Plazenta wurden damit im Durchschnitt rund 15 Einzelschnittbilder erstellt (Tab. 7).

Aufgezeichnete Plazenten	285
Davon waren auswertbar	267
Gesamtzahl der Patientinnen	157
Gesamtzahl der Schnittbilder	4372

Tab. 7: Fallzahlen im untersuchten Kollektiv

Die Bedingungen der Aufnahme einer Patientin in die Untersuchungsserie waren wie folgt:

- Lokalisation der Plazenta an der Vorderwand des Uterus (siehe oben)
- Das Schwangerschaftsalter mußte gesichert sein, d.h. es

wurde eine Übereinstimmung der Angaben der Patientin zur Regelanamnese und den Ergebnissen einer Größenmessung der Frucht durch Ultraschall bis spätestens zur 24. Schwangerschaftswoche gefordert. Waren die Angaben der Schwangeren bezüglich des Termins ihrer letzten Regelblutung ungenau bzw. nicht in Einklang mit dem Ergebnis der Schwangerschaftsaltersbestimmung, so mussten eine Ultraschallmessung im I. Trimenon sowie mindestens eine weitere im zweiten Drittel der Gravidität stattgefunden haben.

Die Bestimmung des Schwangerschaftsalters mittels Ultraschall erfolgte nach den in der Routinediagnostik der Universitäts-Frauenklinik üblichen Methoden (Tab. 8):

Kriterium fetaler Größe	von-bis anwendbar
Fruchtsackgröße	5. SSW bis 10. SSW
Scheitel-Steiß-Länge	6. SSW bis 13. SSW
Biparietaler Durchmesser	12. SSW bis Termin
Thorax-Querdurchmesser	18. SSW bis Termin
Thorax-a.p.-Durchmesser	18. SSW bis Termin

Tab. 8: Ultraschall-Parameter fetaler Größe

- Nur Einlingsschwangerschaften konnten berücksichtigt werden, da erfahrungsgemäß selten mit Sicherheit festgestellt werden kann, ob bei einer Zwillingsgravidität eine oder zwei Plazenten existieren bzw. welchem Feten welche Plazenta zuzuordnen ist.

Hinsichtlich der Parität der Schwangeren wurde prospektiv keine Auswahl getroffen, ebenso fand retrospektiv keine

Selektionierung unter dem Aspekt des kindlichen Geschlechts statt. Der durch die in der Literatur beschriebenen höheren Plazentagewichte bei Mehrparae und männlichen Neugeborenen zu erwartende Fehler erschien vernachlässigbar.

Bei den untersuchten Patientinnen wurden zwischen der 21. und 41. Schwangerschaftswoche zwischen einer und sechs Größenbestimmungen der Plazenta in utero durchgeführt. Tab. 9 gibt die Häufigkeiten der Messungen in den einzelnen Wochen der Gravidität wieder. Als Kriterium des Schwangerschaftsalters wurde hierbei der fetale biparietale Durchmesser herangezogen.

SSW	Anzahl der Messungen
bis 20	1
20-25	6
26-27	2
28-29	7
30	4
31	7
32	8
33	15
34	20
35	25
36	28
37	25
38	41
39	38
40	15
41	18
42	6
43	1
	n = 267

Tab. 9: Anzahl der auswertbaren Messungen in den einzelnen Schwangerschaftswochen

Von den 157 untersuchten Schwangeren war bei 10 (6,4%) eine diabetische Stoffwechsellage bekannt. Dieser hohe Anteil ist auf die schwerpunktmäßig an der Universitäts-Frauenklinik durchgeführte Betreuung von Diabetikerinnen während der Gravidität zurückzuführen. Die Eintei-

lung der Schweregrade der Stoffwechselstörung wurde nach dem von WHITE angegebenen Schema vorgenommen.

3.3 Das Modell der Plazenta

Das zu entwickelnde Plazenta-Modell sollte den tatsächlichen räumlichen Verhältnissen in utero weitgehend entsprechen. Somit entfielen Modellvorstellungen, die - ähnlich dem von HELLMAN et al. vorgestellten - geometrische Körper zur Grundlage hatten. Ferner sollte das Modell so angelegt sein, daß es die Möglichkeit einer Vereinfachung durch Reduktion der Anzahl der Schnittbilder bot. Unter Berücksichtigung der Größenverhältnisse des Organs wurde eine ausreichend genaue Darstellbarkeit aller Randzonen in einer Kombination aus senkrecht aufeinander stehenden Längs- und Querschnittbild-Serien angenommen (Abb. 19).

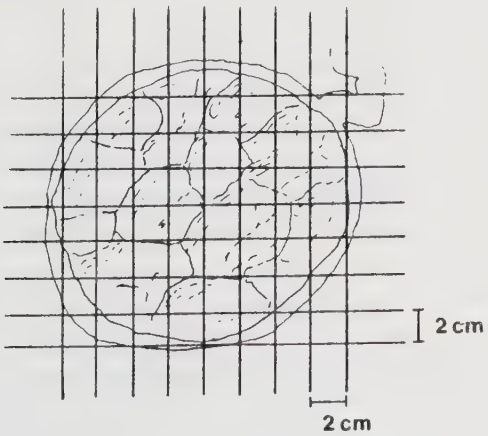


Abb. 19: Schema der Aufzeichnung einer Plazenta: Sowohl in Längs- als auch in Querrichtung wurden im Abstand von 2 cm Ultraschallschnittbilder erstellt und aufgezeichnet

Als Abstand der Einzelschnittbilder in beiden Ebenen wurden jeweils zwei Zentimeter gewählt, die Randzonen des Organs wurden einbezogen. Die so erhaltenen Einzelschnittbilder konnten - für die Longitudinal- und die Transversalebene separat - zu einem räumlichen Körper "verrechnet" werden, da der Abstand der Einzelschnittflächen definiert war.

3.4 Ultraschallgerät, Ablauf der Messung, Dokumentation

Die Ultraschall-Schnittbildserien wurden mit einem Compound-Scanner (s.o.) NE 4102 der Fa. Nuclear Enterprises, Glasgow, erstellt. Dieses Gerät ist auf eine Schallausbreitungsgeschwindigkeit im menschlichen Gewebe von 1546 m/sec geeicht, die Schallintensität wird mit 0,7 μW bis 2,7 mW angegeben. Um vergleichbare Schnittbilder zu erhalten, wurde während des Programms zur Plazenta-Vermessung mit konstanter Empfindlichkeitseinstellung, Tiefenausgleich, Initialverzögerung und Anstiegsflanke gearbeitet. Die entsprechenden Werte gehen aus Tab. 10 hervor.

Empfindlichkeitseinstellung durch Senderabschwächer (Overall Sensivity)	20 dB
Tiefenausgleich (Nachecho-dämpfung, Near range sensivity)	30 dB
Initial-Verzögerung (Delay)	50 mm
Anstiegsflanke (Slope)	5 dB/cm

Tab. 10: Standardisierte Einstellung des Ultraschallgerätes Diasonograph NE 4102 bei der Untersuchungsserie

Der Ablauf einer sonographischen Plazentadarstellung war wie folgt festgelegt:

1. Aufsuchen der durch den Nabel verlaufenden medianen Sagittalebene der Schwangeren, erstes Längsschnittbild ("Längs 0")

2. Verschieben der Schnittebene in Zwei-Zentimeter-Abständen nach links lateral, jeweils Erstellen eines Längsschnittbildes, bis der linke seitliche Randbereich der Plazenta erreicht bzw. überschritten war.

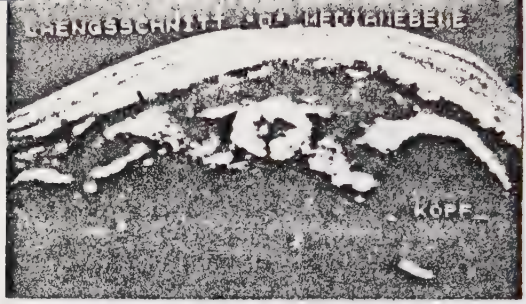
3. Aufsuchen der Querschnittebene (im rechten Winkel zur Ebene der Längsschnitte), in der der kaudale Randbereich des Organs eben darstellbar wurde, darauf Parallelverschiebung der Schnittebene in Zwei-Zentimeter-Abständen nach kranial. Nach Erreichen der kranialen Randzone

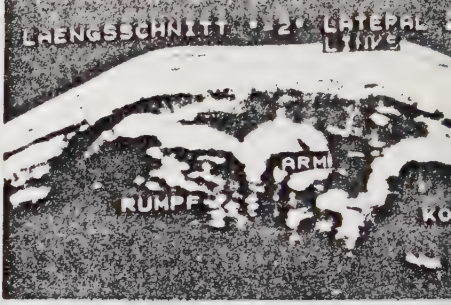
4. Wiederaufsuchen der Medianebene (ohne erneutes Schnittbild) und Parallelverschiebung der Bildebenen im gleichen Abstand bis zum Erreichen des rechten lateralen Plazentarandes.

Abb. 20 zeigt die bei einer Patientin in der 35. Schwangerschaftswoche erstellten Serien von Längs- und Querschnittbildern.

Zur Dokumentation der Einzelschnittbilder diente ein Video-Kassetten-System, das die Möglichkeit zur Aufnahme und Wiedergabe von Standbildern bot.

Der Zeitbedarf zur Ultraschall-Darstellung und Dokumentation einer Plazenta betrug nach der erforderlichen Einarbeitungszeit durchschnittlich 18 Minuten.





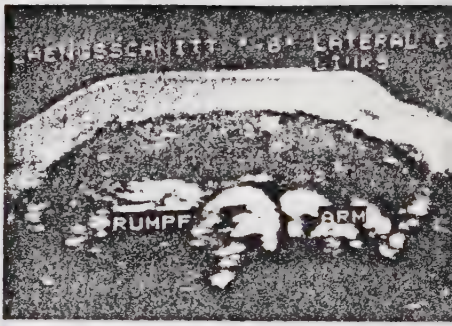
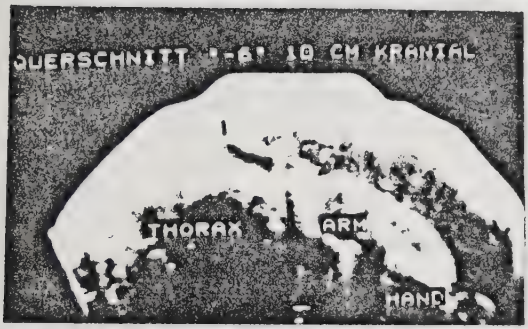


Abb. 20 (Fortsetzung auf der nächsten Seite): Plazenta-Schnittbildserie in der Reihenfolge der Aufnahme. Zunächst Längsschnitte "0" (Medianebene) bis "-8", darauf folgend Querschnitte "-16" (kaudaler Rand) bis "0" (Oberrand).



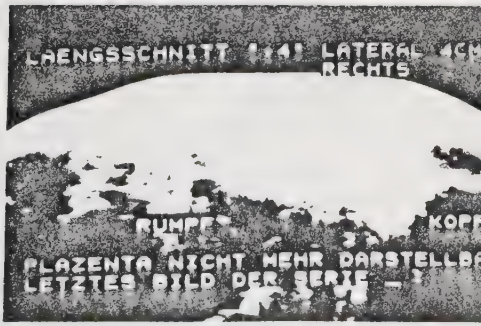


Abb. 20 (Fortsetzung): Zuletzt Darstellung und Aufzeichnung der Längsschnittbilder rechts paramedian (Längs "+2" und "+4"). Die lateralen Begrenzungspunkte der uteroplazentaren Haftlinie sind durch Pfeile gekennzeichnet. NS - Nabelschnur

3.5 Vermessung der Einzelschnittbilder, Berechnung von uteriner Haftfläche, Gesamtoberfläche und Volumen

Die auf Video-Band dokumentierten Längs- und Querschnittbilder einer Plazenta wurden in der gleichen Reihenfolge, wie bei der Aufnahme beschrieben, auf einen Monitor überspielt. Um diesen Monitor (schematische Darstellung in Abb. 21) war der Rahmen eines X-Y-Digitalisierers (Graf-Pen der Fa. Barton) installiert. Beim punktweisen

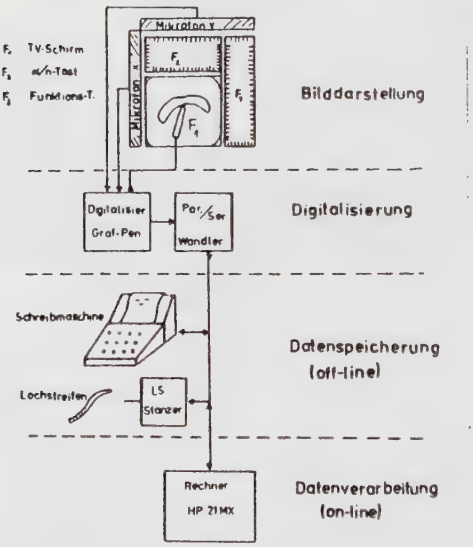


Abb. 21: Schema der Digitalisierung. F_1 - Monitor, auf den die Plazenten vom Videoband überspielt wurden; F_2 - alphanumerisches Feld; F_3 - Funktionstastenfeld

Abtasten der Konturen des auf den Monitor im Feld F_1 vom Videoband überspielten Plazenta-Einzelschnittes im Abstand von einigen Millimetern übertrug dieses Gerät die Koordinaten der Einzelpunkte auf einen Lochstreifen. Die Ermittlung der Koordinaten eines Punktes (Digitalisierung) erfolgt dadurch, daß man eine Art Griffel auf den zu messenden Punkt setzt. An der Spitze dieses Griffels wird mit Hilfe einer Funkenstrecke ein Ultraschallsignal erzeugt. Anhand der Laufzeit dieses Signals zu zwei senkrecht zueinander angeordneten Stabmikrofonen an den Seiten des Meßfeldes wird wegen der Proportionali-

tät von Laufzeit und Abstand die Lage des Punktes eindeutig bestimmt. Zusätzlich konnten über ein im gleichen Koordinatensystem angebrachtes alpha-numerisches (F_2 in Abb. 21) und ein Funktionstastenfeld (F_3 in Abb. 21) durch Berühren der entsprechenden Felder sowohl die Schnittbildserie identifizierende Patientendaten als auch die Zugehörigkeit des Einzelbildes (wievieltes Längs- bzw. Querschnittbild) und die Begrenzungspunkte der uterinen Haftlinie auf dem gleichen Lochstreifen gespeichert werden. Der Zeitaufwand pro Plazenta für die Darstellung der gespeicherten Schnittbilder auf dem Monitor, Digitalisierung der Einzelschnitte und Einlesen der Daten betrug etwa 30 Minuten. Die Daten wurden mittels eines Prozeßrechners vom Typ HP 21 MX verarbeitet. Der Ablauf einer Digitalisierung, die primär verschlüsselten Koordinatenpaare, die Grundlagen der durchgeführten Berechnungen sowie die resultierenden Flächeninhalte bzw. Volumina sind anhand eines Beispiels aus der Untersuchungsserie im Kapitel "Anhang" dargestellt.

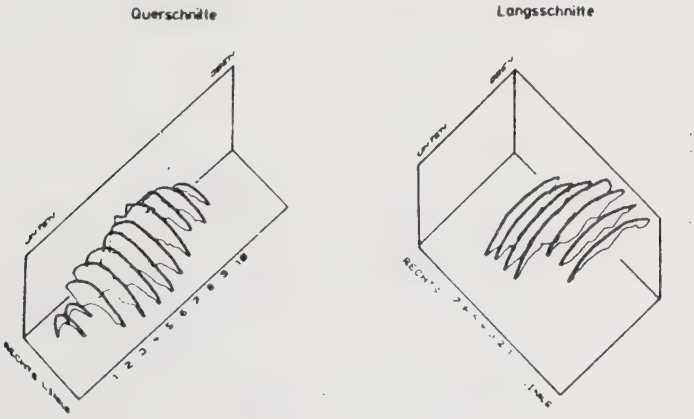


Abb. 22: Darstellung einer Plazenta-Schnittbildserie im dreidimensionalen Koordinatensystem. Linke Bildhälfte: Querschnitte 1 bis 10; rechte Bildhälfte: Längsschnitte 1 bis 7. Zu jeder Einzelplazenta wurde ein solches Kontrollbild erstellt. Doppelt ausgezogene Linie: Uterine Haftlinie der Plazenta

Ein Programm errechnete aus den eingelesenen Lochstreifen der Plazenta-Einzelschnittbilder die Werte für uterine Haftfläche, Gesamtoberfläche und Volumen des Organs. Ein weiteres Programm ermöglichte getrennt nach Längs- und Querschnittbild-Serien die Darstellung der Plazenten entsprechend den abgetasteten Koordinaten, so daß ein Vergleich zwischen dem Original-Schnittbild und der abgetasteten Fläche möglich war. In Abb. 22 sind die Longitudinal- und die Transversalschnitte der gleichen Plazenta dargestellt. Die doppelt ausgezogene Linie markiert die uterine Haftlinie des Organs. Offensichtlich fehlerhaft digitalisierte oder übertragene Bilder wurden über ein Korrekturprogramm neu eingelesen.

3.6 Erhobene Patientendaten

Bei jeder Darstellung einer Plazenta zur späteren Vermessung wurden die auch in der routinemäßigen Schwangerenüberwachung durch Ultraschall üblichen Parameter fetalen Wachstums ermittelt (s.o.). Aus den Meßwerten des fetalen biparietalen und Thorax-Querdurchmessers wurde nach der von HANSMANN (1974) angegebenen Methode das aktuelle Schätzgewicht des Feten ermittelt.

Zur exakten Beurteilung des fetalen Wachstums werden heute sowohl Kopf- als auch Thoraxmaße herangezogen. In den Fällen, in denen - z.B. durch eine tiefe Einstellung des kindlichen Kopfes oder eine Kompression desselben im Fundus uteri bei Beckenendlage - der biparietale Durchmesser des Feten nicht eindeutig meßbar bzw. beurteilbar war, mußte auf eine Angabe des Schätzgewichtes verzichtet werden. Der Thorax-Querdurchmesser wird in der Transversalschnittebene ermittelt, in der die V. umbilicalis am Übergang vom ventralen zum mittleren Drittel des anterior-posterioren Durchmessers aufzufinden ist.

Von den postpartal erhobenen Befunden wurden die folgenden

übernommen und auf Datenträgern gespeichert:

Geburtsgewicht
APGAR - Score
Reifegrad nach CLIFFORD
Entbindungsart
pH in Nabelarterien bzw. -vene
Entbindungswoche und Differenz zum errechneten Termin

Die Plazenten wurden routinemäßig nach der Inspektion durch den Geburtshelfer mit Nabelschnurrest und Eihäuten in einem Kunststoffgefäß verschlossen und im Kühlschrank aufbewahrt. Die Gewichtsbestimmung erfolgte mit Anhängen. In einem Teil der Fälle wurde anschließend eine Volumenbestimmung durch Messen der Flüssigkeitsverdrängung in einem geeichten Zylinder durchgeführt. Die im Verlauf der Gravidität und postpartal erhobenen Meßwerte und Befunde wurden auf einem Karteiblatt dokumentiert.

4. FEHLER UND FEHLERQUELLEN

4.1 Intrapersoneller Fehler

Zur Bestimmung der Fehlerbreite der Methode zur Vermessung von Plazenta-Schnittbildern digitalisierten zwei Untersucher in zwei voneinander unabhängigen Serien jeweils 18-mal die gleiche Schnittbildreihe. Um eine Verfälschung des Fehlers in Richtung besonders geringer Abweichungen der Meßwerte voneinander durch "Gewöhnung" des Untersuchers zu vermeiden, wurde die Zahl der Vermessungen auf zwei pro Untersucher und Tag begrenzt. In Tab. 11 sind die Abweichungen vom Mittelwert in Prozent bei der Bestimmung von Plazentavolumen und uteriner Haftfläche aus Longitudinal- und Transversalschnitten für beide Untersucher angegeben.

		Abweichung in Prozent	
		Untersucher 1	Untersucher 2
VOLUMEN	Querschnitte	4,8	2,6
	Längsschnitte	3,4	3,0
HAFTFLÄCHE	Querschnitte	2,4	1,1
	Längsschnitte	1,6	1,3

Tab. 11: Intrapersoneller Fehler

4.2 Interpersoneller Fehler

Anhand der gleichen Meßreihe wurde der interpersonelle

Fehler zweier Untersucher ermittelt. Die Einzelwerte der Abweichungen in Prozent gibt Tabelle 12 wieder.

		Fehler in Prozent
VOLUMEN	Querschnitte	8,6
	Längsschnitte	4,6
HAFTFLÄCHE	Querschnitte	4,4
	Längsschnitte	3,3

Tab. 12: Interpersoneller Fehler zweier Untersucher

4.3 Mögliche Fehlerquellen

Die Grauwertdarstellung der Plazenta ermöglicht eine bessere Abgrenzung von der Uteruswand. KRATOCHWIL beschrieb 1975 die Möglichkeit, die Plazenta von der Uterusmuskulatur zu differenzieren. Als organisches Substrat der im Sonogramm sichtbaren Haftlinie nahm er das NITABUCH'sche Fibrinoid an. Diese Deutung der Reflexionen wird auch von SCHLENSKER (1976) vertreten, der die exakte Eihautabgrenzung hervorhebt. Mit fortschreitendem Alter der Gravidität treten zudem Dichteunterschiede zwischen plazentarem und uterinem Gewebe auf.

Zur Reproduzierbarkeit der Untersuchung wurden Standardwerte der Geräteeinstellung gewählt (s.o.). Unter besonderen Bedingungen, wie z.B. Adipositas der Schwangeren oder flächenhafte Ausdehnung der Plazenta, konnte daher die eindeutige Abgrenzbarkeit plazentaren Gewebes von der

Umgebung besonders in den Randzonen eingeschränkt sein. Dieser Erfahrung trugen wir Rechnung, indem wir zur Ermittlung der Fehlerbreite der Methode eine Plazenta-Serie aus der Mitte des dritten Trimenon mit nur unvollständig konturierten kaudalen Randbezirken heranzogen.

Die Abbildung 23 zeigt die Ergebnisse der Flächenbestimmungen der Einzelschnittbilder, getrennt nach Quer- und Längsschnitten. Zu den Mittelwerten sind durch senkrechte Striche die intrapersonellen Fehler eingetragen.

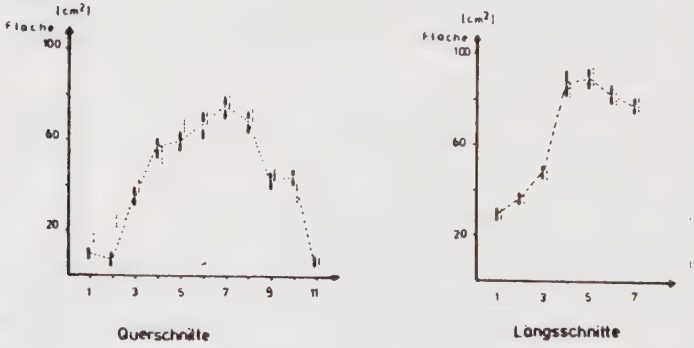


Abb. 23: Intrapersoneller Fehler bei der Vermessung der Einzelschnittbilder der Vorlaufserie. Links: Querschnitte 1 - 11, rechts: Längsschnitte 1 - 7. Ausgezogene Linie: Untersucher 1, gestrichelte Linie: Untersucher 2.

Es zeigt sich, daß mit Ausnahme zweier Einzelschnittbilder Übereinstimmung beider Untersucher in der Beurteilung der Schnittbilder der Vorlaufserie besteht. Lediglich die Querschnitte 1 und 2 wurden von Untersucher 2 größer ver-

messen. Auf diesen Schnittbildern sind die kaudalen Randzonen der Plazenta dargestellt. Die seitlichen Begrenzungen des Organs in diesen Sonogrammen waren unscharf abgebildet und damit verschieden interpretierbar.

Eine weitere mögliche Fehlerquelle auch bei deutlichen Umrissen ist die Genauigkeit, mit der die Plazentakonturen auf dem Kontrollmonitor abgetastet wurden. Ein vor allem durch zu große Abstände der Koordinatenpaare entstandener Fehler konnte einerseits durch eine Vorlaufserie zur Einübung, andererseits durch die optische Kontrolle der tatsächlich umschriebenen Konturen gering gehalten werden. Ein Programm zur Kontrolle der in den Datenspeicher eingelesenen Koordinaten und der daraus resultierenden Flächen- und Volumenberechnungen arbeitete eine Kontrolliste pro Schnittbildserie aus, aus der die Fläche und Haftlinie sowie größere "Sprünge", d.h. Koordinatenabstände über 2 cm, hervorgingen. Zu große Abstände wurden als Hinweis auf Ungenauigkeit bei der Digitalisierung angesehen; die entsprechenden Schnittbilder wurden erneut abgetastet und die Daten dieser Digitalisierung über ein Korrekturprogramm zu den bereits vorhandenen Daten der entsprechenden Schnittbildserie hinzugefügt.

Zusammenfassend muß hervorgehoben werden, daß die intrauterine Volumetrie der Plazenta die exakte Darstellbarkeit der Basalplatte zur wichtigsten Voraussetzung hat. Unterschiedliche Interpretationen des Verlaufs der uteroplazentaren Haftlinie in sonographisch nicht genau differenzierbaren Bezirken durch verschiedene Untersucher sind offensichtlich die Hauptursache für interindividuelle Abweichungen bei den vorliegenden Messungen. Die Darstellbarkeit der Basalplatte im Ultraschall-Schnittbild hat die Anwendung von Scannern mit hoher Auflösung zur Voraussetzung.

5. ERGEBNISSE

5.1 Divergente Ergebnisse aus Longitudinal- und Transversalserien

Von jeder der aufgezeichneten Plazenten wurden die Haftfläche, die Gesamtoberfläche, das Volumen sowie das Verhältnis der Haftfläche zu Oberfläche und Volumen berechnet. Diese Berechnungen wurden unabhängig voneinander für Longitudinal- und Transversalschnittserien durchgeführt. Hierbei zeigten sich sowohl in der Untersuchungsreihe zur Fehlerbreitenbestimmung als auch in der metrischen Untersuchung aller Plazenten regelmäßig Abweichungen der Mittelwerte aus den Längsschnitten gegenüber denen aus den Querschnitten zu niedrigeren Resultaten. Die Mittelwerte des Plazentavolumens aus den Längsschnittserien waren im Durchschnitt um 6,5% kleiner als die entsprechenden, aus den Querschnittserien berechneten Werte; die Streuung der Mittelwerte betrug jedoch 25%.

Dieser Fehler liegt in der Methode der Aufzeichnung der Plazenten begründet: War die Plazenta einer Schwangeren flächenhaft an der Vorderwand des Uterus ausgebreitet bzw. reichten größere Anteile des Organs weit auf die rechte Seite der Gebärmutter, so konnte bei fortgeschrittenem Alter der Gravidität und entsprechend gewölbter Bauchdekke der Patientin die vollständige Aufzeichnung der Plazenta in Längsschnitten unmöglich sein. Die Querschnittserien dagegen erfaßten das Organ stets vollständig. Die Vermessung nur einer Longitudinalserie täuschte also eine unter Umständen zu niedrige Größe im Raum vor.

Aus diesem Grunde wurde auf die Längsschnittbilder zur Bestimmung des Plazentawachstums verzichtet.

5.2 Wachstum von Plazentavolumen, -haftfläche und -oberfläche im Verlauf der Schwangerschaft

In den Abbildungen 24 bis 26 sind die Werte des Plazentavolumens sowie der Haftfläche und der Oberfläche des Organs gegen das Schwangerschaftsalter aufgetragen. In den linken Bildhälften sind jeweils die Einzelwerte dargestellt, während rechts die Mittelwerte in den jeweiligen Schwangerschaftswochen sowie die einfache Standardabweichung eingetragen wurden.

Das Alter der Gravidität wurde nicht allein nach den klinisch-anamnestischen Daten ermittelt, sondern nach den Ultraschallverlaufskurven des biparietalen Durchmessers korrigiert.

In Tabelle 13 sind die Mittelwerte des Volumens, der Haftfläche und der Oberfläche des Organs für ein Normalkollektiv, d.h. unter Ausschluß der Kinder diabetischer Mütter

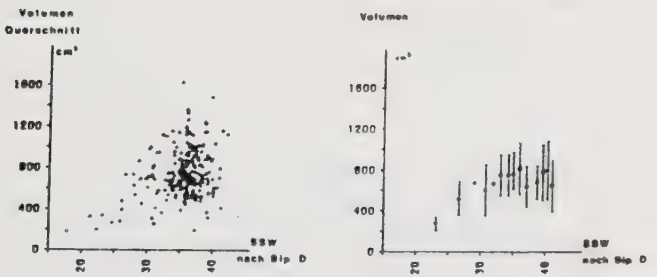


Abb. 24: Plazentavolumen im Verlauf der Schwangerschaft. Links: Einzelwerte, rechts: Mittelwerte

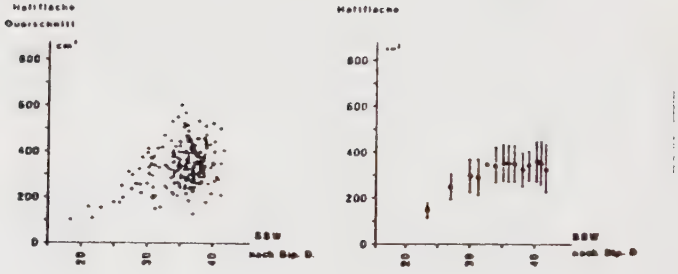


Abb. 25: Plazentahaftfläche im Verlauf der Schwangerschaft. Links: Einzelwerte, rechts: Mittelwerte

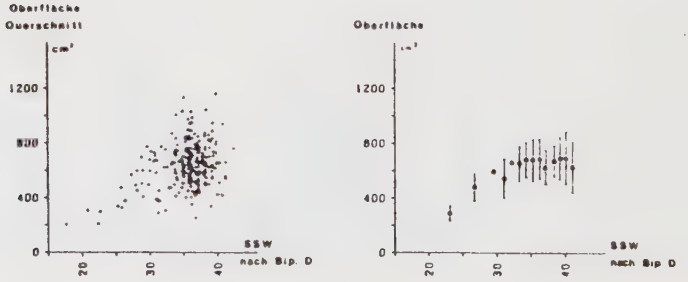


Abb. 26: Plazentaoberfläche im Verlauf der Schwangerschaft. Links: Einzelwerte, rechts: Mittelwerte

SSW	Anzahl	Volumen		Haftfläche		Oberfläche	
		$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
20-25	4	285	63	152	29	292	56
26-27	3	537	177	255	57	477	95
28-29	2	662	295	298	110	556	204
30	3	901	162	371	59	734	48
31	10	610	253	291	85	556	163
32	3	886	278	389	50	720	82
33	5	763	203	346	79	658	141
34	16	766	202	360	78	678	145
35	26	786	227	357	88	678	161
36	38	811	258	362	88	684	162
37	41	720	204	330	76	623	141
38	25	743	166	354	64	672	126
39	15	792	284	369	90	693	164
40	9	806	312	363	93	701	211
41	5	738	278	327	110	627	197

Tab. 13: Plazentavolumen, -haftfläche und -oberfläche im Verlauf der Schwangerschaft
$\bar{x}$ - Mittelwert, SD - einfache Standardabweichung

(Gruppen B, C oder D nach WHITE) und der reifen Neugeborenen mit einem Geburtsgewicht unter 2700 g, dargestellt unter Angabe der einfachen Standardabweichungen und der Fallzahlen.

Aus den Mittelwerten und den einfachen Standardabweichungen in den einzelnen Wochen der Schwangerschaft wurden für die drei Meßgrößen Volumen, uterine Haftfläche und Oberfläche rechnerisch angeglichene Verlaufskurven ermittelt. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in den Abbildungen 27 bis 29 dargestellt.

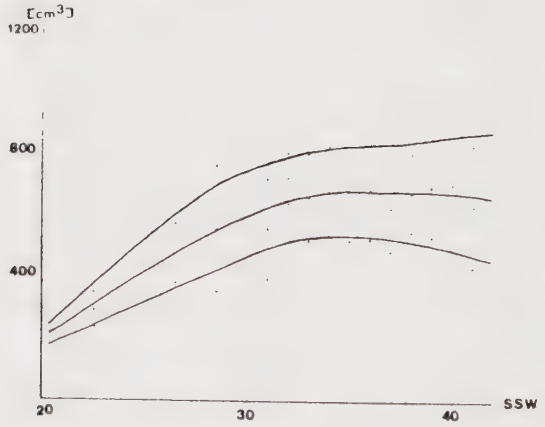


Abb. 27: Plazentavolumen im Verlauf der Schwangerschaft: Rechnerisch angeglichene Verlaufskurve der Mittelwerte und der einfachen Standardabweichung

Die Verläufe der so ermittelten Wachstumskurven zeigen, daß jenseits der 34. Schwangerschaftswoche kein Wachstum des Plazentavolumens, der uterinen Haftfläche und der Gesamtoberfläche des Organs mehr zu verzeichnen ist.

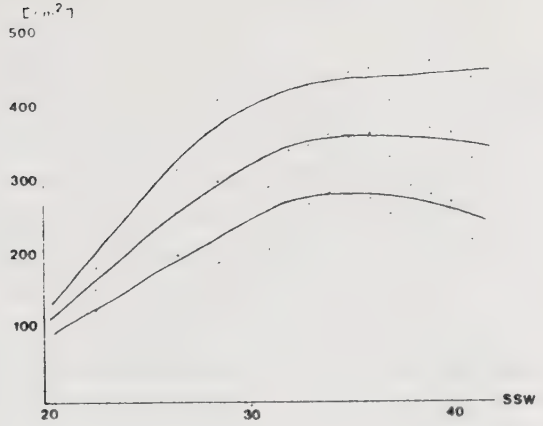


Abb. 28: Plazentahaftfläche im Verlauf der Schwangerschaft: Rechnerisch angeglichene Verlaufskurve der Mittelwerte und der einfachen Standardabweichung

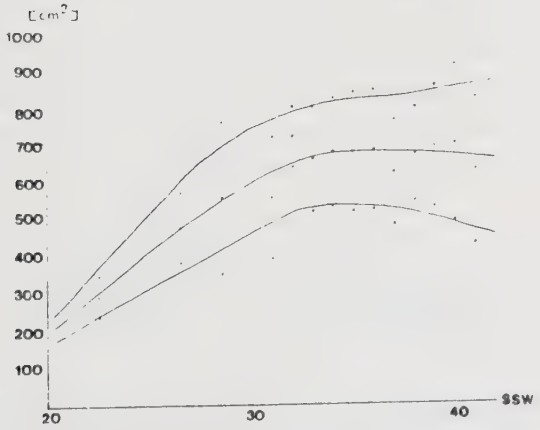


Abb. 29: Plazentaoberfläche im Verlauf der Schwangerschaft: Rechnerisch angeglichene Verlaufskurve der Mittelwerte und der einfachen Standardabweichung

5.3 Plazentavolumen und -haftfläche in diabetischen und wachstumsretardierten Schwangerschaften

Unter den untersuchten Graviditäten wurden zwei kleine Kollektive pathologischer Verläufe gebildet:

1. Die Gruppe der Schwangerschaften bei diabetischer Stoffwechsellage der Mutter (Gruppen B, C oder D nach WHITE). Sie umfaßt 10 Graviditäten (6,4%), in denen insgesamt 23 Messungen vorgenommen wurden.
2. Die Gruppe der Schwangerschaften, in deren Verlauf sonographisch der Verdacht auf eine Wachstumsretardierung des Feten geäußert und dieser postpartal bestätigt wurde (reife Neugeborene unter 2700 g). Hier wurden neun Schwangere (5,7%) eingeordnet, an denen 15 Vermessungen der Plazenta durchgeführt wurden.

In den Abbildungen 30 und 31 sind in die geglätteten Wachstumsverläufe des Volumens und der Haftfläche samt der einfachen Standardabweichungen die entsprechenden Einzelwerte der Kollektive "Diabetes Gruppe B, C oder D" und "small-for-gestational-age" eingetragen. Es zeigt sich, daß alle Volumenwerte und bis auf eine Ausnahme auch alle Haftflächenwerte der wachstumsretardierten Feten unterhalb der mittleren Wachstumskurve der Plazenta liegen.

Die Einzelwerte des Plazentavolumens diabetischer Mütter liegen in der Mehrzahl im oberen Streubereich, die Werte der Haftflächen sind über den gesamten Streubereich der geglätteten Wachstumskurve verteilt.

Dieses Auseinanderweichen der Korrelationen von Volumina und Haftflächen in pathologischen Kollektiven führte zur Betrachtung des Quotienten beider Meßgrößen.

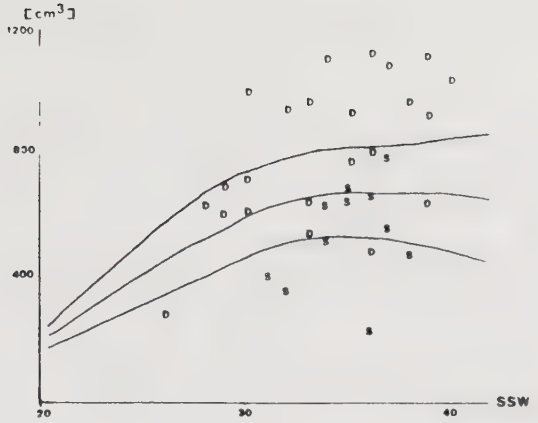


Abb. 30: Einzelwerte pathologischer Kollektive in den Verlaufskurven der Mittelwerte und Standardabweichungen des Plazentavolumens; **D** *- Diabetes Gr. B, C oder D,* **S** *- wachstumsretardierte Feten (reife Neugeborene unter 2700 g)*

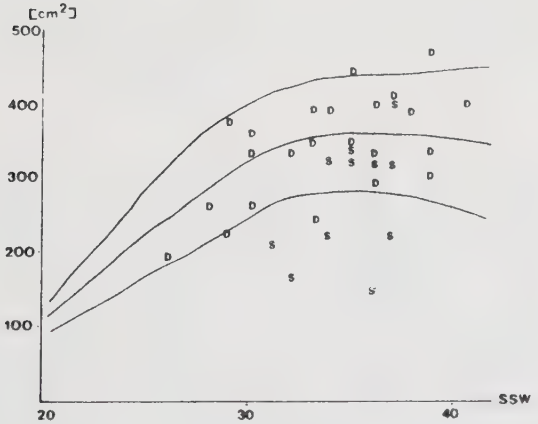


Abb. 31: Einzelwerte pathologischer Kollektive in den Verlaufskurven der Mittelwerte und Standardabweichungen der uterinen Haftfläche; Symbole wie in Abb. 30

5.4 Das Verhältnis von Volumen zu Haftfläche im Normal- und im pathologischen Kollektiv

Plazentavolumen und uterine Haftfläche des Organs sind eng miteinander verknüpft, wie bereits die gleichsinnig verlaufenden Wachstumskurven beider Größen zeigen. Abb. 32 zeigt die enge Beziehung (r = 0,88) auf; jedoch wird die Korrelation mit zunehmendem Volumen, d.h. mit fortschreitendem Schwangerschaftsalter, geringer. In Abb. 33 ist dies verdeutlicht, indem die Einzelwerte aus 239 Einzelbestimmungen des Quotienten aus Volumen und Haftfläche der Plazenta gegen die Schwangerschaftswoche (nach biparietalem Durchmesser korrigiert) aufgetragen sind. Die Bildung dieses Quotienten erschien sinnvoll, weil er, wenn auch mit Einschränkungen, eine Aussage über die Art der plazentaren Größenzunahme ermöglicht: Plazenten, die überwiegend durch Dickenzunahme ihr Volumen vergrößern, sind durch einen größeren Quotienten Volumen/Haftfläche gekennzeichnet als vom räumlichen Inhalt her gleich große Organe, die mehr flächenhaft ausgebreitet sind. Diese Regel gilt allerdings nur mit Einschränkungen, insbesondere für Plazenten, die großflächig ausgebreitet und zugleich stark gekrümmt sind.

In den drei Untersuchungsgruppen (unauffällig; Diabetes Gruppe B bis D; wachstumsretardierte Feten) wurden die Veränderungen des Quotienten aus Plazentavolumen und uteriner Haftfläche ermittelt. Es zeigte sich eine rasche Zunahme von 1,9 zwischen der 20. und 25. Schwangerschaftswoche bis auf 2,3 in der 32. Woche. Jenseits der 32. Woche ist keine Zunahme des Quotienten mehr erkennbar (Abb. 34 und Tab. 14). Für diese Betrachtung wurde ein "bewichteter " Quotient herangezogen: Der Quotient aus Fläche und Haftlinie wurde für jedes Einzelschnittbild berechnet, wobei der Bewichtungsfaktor proportional zum Anteil dieses Schnittes am Gesamtvolumen ist.

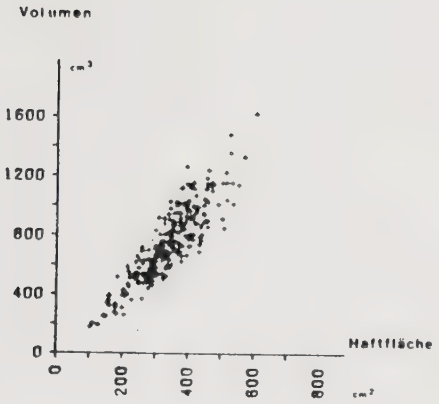


Abb. 32: Korrelation zwischen Plazentavolumen und uteriner Haftfläche (r = 0.88)

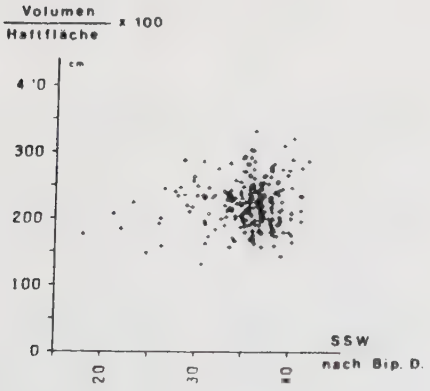


Abb. 33: 239 Einzelwerte des Quotienten aus Volumen und Haftfläche im Verlauf der Schwangerschaft

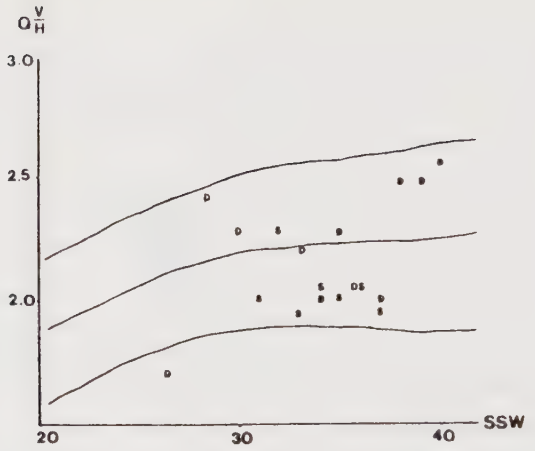


Abb. 34: Quotient Plazentavolumen/-haftfläche im Verlauf der Schwangerschaft (mit Standardabweichung) mit den Mittelwerten pathologischer Kollektive in den Schwangerschaftswochen; **D** *- Diabetes Gr. B, C oder D,* **S** *- wachstumsretardierte Feten (reife Neugeborene unter 2700 g)*

In die graphische Darstellung des Verlaufs des Quotienten sind die Mittelwerte der beiden pathologischen Kollektive für die einzelnen Schwangerschaftswochen eingetragen. Die Mehrzahl der Plazenten diabetischer Schwangerer zeigt bereits mit Beginn des dritten Trimenon eine deutliche Verschiebung des Quotienten zu höheren Werten als im Normalkollektiv; diese Tendenz verstärkt sich zum Ende der Gravidität hin. Das Verhältnis Volumen/Haftfläche einer Plazenta des Normalkollektivs zwischen der 32. und 40. Schwangerschaftswoche beträgt im Mittel 2,23; der entsprechende Wert der Diabetes-Gruppe ist 2,48. Unter Berücksichtigung der Standardabweichungen ergibt sich eine signifikante Unterscheidung auf dem 1% - Niveau zwischen dem Volumen-

Haftflächen-Verhältnis "normaler" und diabetischer Plazenten. Die Einzelwerte von wachstumsretardierten Feten liegen zwar in der Mehrzahl im unteren Streubereich der Verlaufskurve des Quotienten; für den Mittelwert über den Zeitraum zwischen der 32. und 40. Schwangerschaftswoche (2,19) ließ sich jedoch kein signifikanter Unterschied zum Normalkollektiv ermitteln.

SSW	Mittlerer Quotient Volumen/Haftfläche	Standard-abweichung	Anzahl
20-25	1,92	0,33	4
26-27	2,13	0,29	3
28-29	2,24	0,19	2
30	2,57	0,07	3
31	2,09	0,46	10
32	2,31	0,47	3
33	2,24	0,16	5
34	2,19	0,33	16
35	2,27	0,35	26
36	2,29	0,42	38
37	2,23	0,26	41
38	2,16	0,35	25
39	2,15	0,35	15
40	2,29	0,55	9
41	2,32	0,31	5
			n = 205

Tab. 14: Mittelwerte des Quotienten aus Plazentavolumen und -haftfläche im Verlauf der Schwangerschaft für ein Normalkollektiv

5.5 Plazentaoberfläche und -haftfläche

Zwischen beiden Größen besteht erwartungsgemäß eine enge Korrelation (r = 0,9934 im Gesamtkollektiv), die sich auch in den Risikokollektiven bestätigt (Abb. 35).

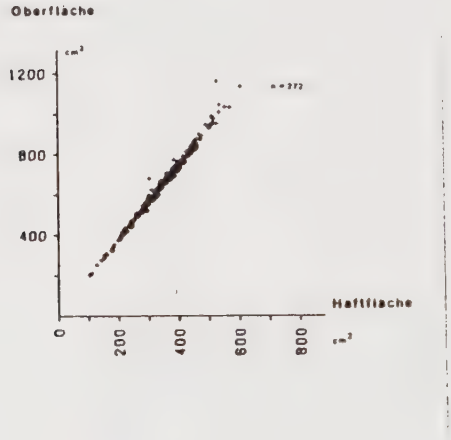


Abb. 35: Plazentaoberfläche zu -haftfläche im Gesamtkollektiv (r = 0,9934)

5.6 Wachstumsgeschwindigkeiten der Plazenta und des Feten

Als Kriterium der synchron verlaufenden fetalen und plazentaren Ausreifung ist der Plazenta-Kindsgewicht-Index bekannt (s.o.). Analog zu diesem Quotienten wurde der Quotient aus sonographisch ermitteltem Plazentavolumen und dem Schätzgewicht des Feten (aus biparietalem und Thorax-Querdurchmesser nach HANSMANN, s. Tab. 15) gebildet. Die Mittelwerte dieses Quotienten in den einzelnen Schwangerschaftswochen sind Abb. 36 und Tab. 16 zu entnehmen.

SSW	Mittleres Schätzgewicht (g)	Standard-abweichung (g)	Anzahl
20-25	577	-	1
26-27	888	160	3
28-29	1310	118	7
30	1760	205	5
31	1810	46	11
32	1920	157	4
33	2210	126	8
34	2400	127	18
35	2630	123	28
36	2800	100	47
37	3040	94	43
38	3240	123	27
39	3360	123	18
40	3450	141	10
41	3540	120	5
			n = 235

Tab. 15: Mittelwerte des fetalen Schätzgewichtes (aus biparietalem und Thorax-Querdurchmesser nach HANSMANN) für das untersuchte Normalkollektiv

Es zeigt sich eine kontinuierliche Abnahme des Index von Werten über 0,5 bis zur 30. Schwangerschaftswoche zu einem Verhältnis von 0,21 : 1 in der 41. Woche. Das Plazentawachstum nimmt, in Relation zum fetalen Wachstum,

SSW	Mittlerer Index	Standard-abweichung	Anzahl
26-27	0,60	0,12	3
28-29	0,49	0,22	2
30	0,54	0,12	3
31	0,34	0,14	10
32	0,48	0,19	3
33	0,33	0,11	5
34	0,32	0,09	14
35	0,30	0,08	25
36	0,29	0,09	37
37	0,24	0,07	40
38	0,23	0,05	24
39	0,24	0,08	15
40	0,24	0,09	9
41	0,21	0,07	5
		n = 195	

Tab. 16: Mittlerer Index aus Plazentavolumen und fetalem intrauterinem Schätzgewicht im Verlauf der Schwangerschaft

im dritten Trimenon annähernd linear ab. In die gleiche Graphik wurden die rechnerisch angeglichenen Wachstumsverläufe des sonographisch bestimmten Plazentavolumens und des fetalen intrauterinen Schätzgewichts eingetragen. Abb. 37 zeigt zum Vergleich eine 1963 von GRUENWALD anhand postpartaler Meßwerte erhobene Verlaufskurve der Parameter Plazentagewicht, Kindsgewicht und Plazenta-

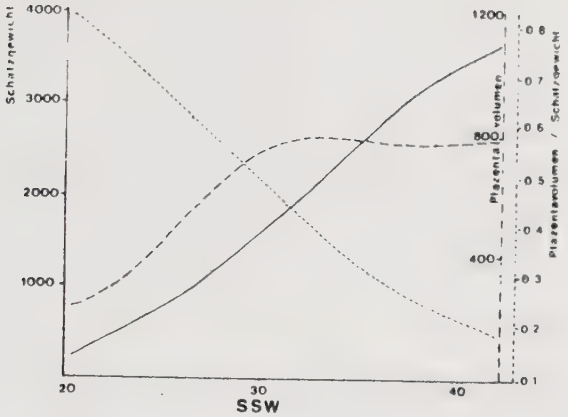


Abb. 36: Plazentavolumen, fetales intrauterines Schätzgewicht (aus biparietalem und Thorax-Querdurchmesser) und Plazentavolumen-Schätzgewicht-Index im Verlauf der Schwangerschaft; – – – – Plazentavolumen, ——— fetales Schätzgewicht, ·····Index

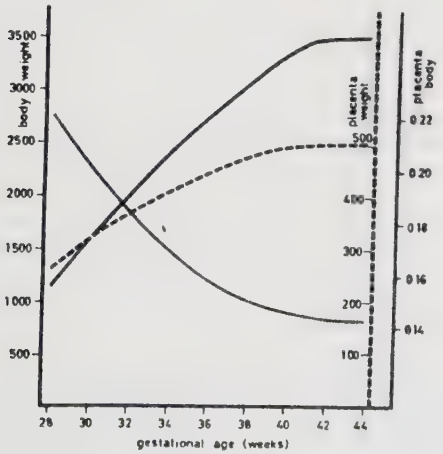


Abb. 37: Postpartal bestimmtes Kindsgewicht, Plazentagewicht und Quotient beider Größen (GRUENWALD 1963)

Kindsgewicht-Index. Die Verlaufskurve des Index liegt in ihren Absolutwerten auf einem niedrigeren Niveau; dies erscheint dadurch erklärbar, daß GRUENWALD postpartale Wägungen an ausgebluteten und von sämtlichen Anhängen befreiten Plazenten vornahm. Der dabei entstehende Volumenverlust führt dazu, daß postpartal in der 40. Schwangerschaftswoche der Anteil des Plazentagewichtes nur 15% des Kindsgewichtes beträgt - das intrauterine Plazentavolumen zum gleichen Zeitpunkt hingegen macht im Mittel 24% des fetalen Schätzgewichtes aus.

5.7 Vergleich der intrauterin bestimmten Plazentagröße mit postpartal erhobenen Befunden

Die sonographisch ermittelten Größen wurden mit dem postpartal bestimmten Plazentagewicht sowie der Verdrängung im Meßzylinder verglichen, sofern zwischen der letzten Ultraschallmessung der Plazenta und der Entbindung maximal 14 Tage Zeitabstand lagen. Die Streuung der Einzelmessungen für das Verhältnis von Volumen und post-partum-Gewicht bzw. Volumen und Verdrängungsmenge zeigen die Abbildungen 38 und 39. Die Quotienten streuen in einem sehr weiten Bereich, die Korrelationen sind gering. Es wurde im Normalkollektiv der Anteil des postpartalen Verdrängungsvolumens am intrauterin gemessenen Rauminhalt bestimmt und festgestellt, daß im Mittel die Plazenta nach der Geburt nur noch 41% (Standardabweichung = 15%, n = 66) des sonographisch ermittelten Volumens aufweist. In keinem der Fälle wurde das intrauterine Volumen post partum übertroffen.

Beim Vergleich des Ultraschall-Plazentavolumens mit dem Plazentagewicht post partum ermittelten wir ein Verhältnis von durchschnittlich 100:67, wobei in fünf von 79 Fällen (6,3%) der nach der Geburt bestimmte Wert höher lag (Standardabweichung 19%, n = 79).

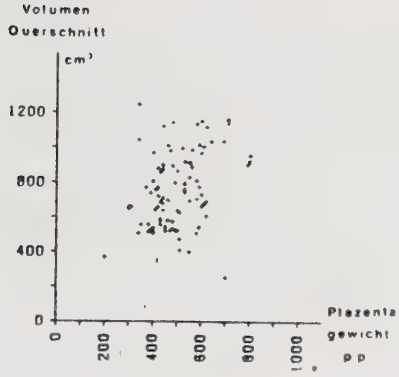


Abb. 38: Intrauterines Plazentavolumen und postpartales Plazentagewicht in 79 Fällen

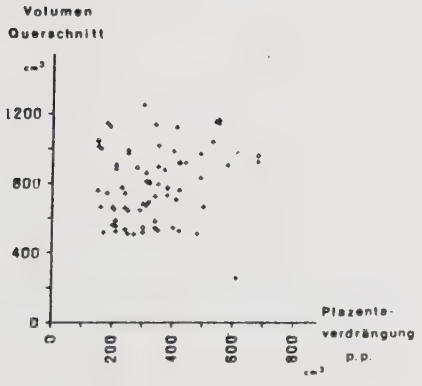


Abb. 39: Intrauterines Plazentavolumen und postpartales Verdrängungsvolumen in 66 Fällen

Das Verhältnis von intrauterin bestimmtem Volumen und post-partum-Gewicht konnte somit nicht zur Überprüfung der Meßergebnisse herangezogen werden.

Der Mittelwert des Index aus Plazentagewicht und kindlichem Geburtsgewicht zwischen der 38. und 42. Schwangerschaftswoche beträgt 0,143 (Standardabweichung = 0,0232, n = 117), der aus Ultraschall-Volumen und fetalem Schätzgewicht bestimmte Quotient im gleichen Zeitraum durchschnittlich 0,266 (Standardabweichung 0,067, n = 88). Postpartal sinkt der Index damit auf durchschnittlich 64% des intrauterin erhobenen Wertes.

6. DISKUSSION

In der vorliegenden Arbeit wurde versucht, zur Bestimmung des Wachstums der Plazenta im letzten Drittel der Schwangerschaft ein differenziertes Plazentamodell aufzubauen und im Rahmen einer Verlaufsstudie anzuwenden. Vergleichbare Untersuchungen liegen nur in der Arbeit BLEKER vor, der die Plazenten von zwölf Schwangeren im Verlauf der Gravidität mehrmals anhand von vier Schnittbildern vermaß. Die hier dargestellte Methode ist mit nur geringen intra- und interpersonellen Fehlerbreiten behaftet, wie in einer von zwei Untersuchern durchgeführten Vorlaufserie gezeigt werden konnte. Die post partum durchgeführten Größenbestimmungen der Plazenta (Gewicht und Flüssigkeitsverdrängung) erscheinen nicht geeignet, die Korrektheit der intrauterinen Messungen zu überprüfen. Wesentliches Hindernis beim Vergleich intrauteriner und nachgeburtlicher Messungen ist die unterschiedliche Blutfülle des Organs. BLEKER et al. zeigten 1975 in einer Ultraschall-Studie an sechs Patientinnen, daß unter der Wehe Länge, Dicke und Oberfläche der Plazenta zunehmen. Die Autoren führten dies auf eine Vergrößerung des intervillösen Raumes zurück. Neben den intrauterinen Volumenschwankungen kaum berechenbar sind die Volumen- und Gewichtsänderungen nach der Geburt. ZSCHIESCHE (1963) ermittelte an 500 Plazenten, daß die Eihäute 13 -14%, die Nabelschnur 5-6% und der Blutgehalt 24-26% des Plazentagewichtes ausmachen, wobei eine Signifikanz der Verhältnisse lediglich für den Anteil von Eihäuten und Nabelschnur, nicht jedoch für den Blutgehalt, erhalten wurde. Legt man einen Gewichtsverlust von rund 40-46% des Geburtsgewichtes zugrunde, könnte eine Übereinstimmung mit dem ermittelten Verhältnis von intrauterinem Volumen und postpartalem Gewicht gesehen werden. Diese Feststellung ist jedoch statistisch nicht abzusichern.

Die eingangs gestellten Fragen können wie folgt beantwortet werden:

1. Die ermittelten Parameter Volumen, Haftfläche und Oberfläche nehmen einen gleichsinnigen Verlauf mit fortschreitendem Schwangerschaftsalter: Keine der genannten Größen zeigt eine Zunahme jenseits der 34. Schwangerschaftswoche. Bezüglich des Volumenwachstums sind die vorgelegten Ergebnisse mit denen von BLEKER et al. vergleichbar. Er fand bei zehn der untersuchten zwölf Patientinnen kein Plazentawachstum in den letzten Schwangerschaftswochen, teilweise sogar eine geringe Abnahme der Größe. Die von uns erstellten Wachstumsverläufe der Plazenta stehen hingegen im Widerspruch zu den von HELLMAN et al. in einer Querschnittstudie erhobenen Befunden sowie den Ergebnissen der Mehrzahl der postpartalen Gewichts- und Größenbestimmungen. Querschnittmäßig erhobene Befunde können jedoch keine echten Wachstumsverläufe aufzeigen. Je früher vor der physiologischen Schwangerschaftdauer die Gravidität beendet wurde, desto mehr ist eine plazentare Ursache oder Nebenursache als Grund für die vorzeitige Geburt anzunehmen. Die Übernahme von postpartalen Größenbestimmungen der Plazenta in eine Wachstumskurve ist daher problematisch, wie von KLOOSTERMAN aufgezeigt und durch eigene Untersuchungen bestätigt wurde.

2. Der aus dem Plazentavolumen und dem sonographisch bestimmten Schätzgewicht des Feten gebildete Index gibt Auskunft über das Ausmaß der Wachstumsverlangsamung der Plazenta gegenüber dem Wachstum des Feten. GRUENWALD hat 1963 aus postpartalen Messungen Wachstumskurven für Fet und Plazenta erstellt und in Beziehung gesetzt. Danach fällt das Verhältnis von Plazenta und Fet von 0,22 in der 28. Schwangerschaftswoche auf 0,145 am Termin. Die von uns untersuchten Quotienten aus intrauterinem Plazentavolumen und fetalem Schätzgewicht betrugen im Mittel in der 30. Schwangerschaftswoche 0,54; am Termin war der Index auf einen Mittelwert von 0,23 abgesunken. Die Unterschiede in der Höhe der Verlaufskurven sind durch die prinzipiellen Differenzen zwischen intrauterin und postpartal bestimmten Volumina

und Gewichten erklärbar.

3. Die Oberfläche der Plazenta ist eng mit der uterinen Haftfläche des Organs korreliert, so daß auf eine gesonderte Betrachtung des Wachstumsverlaufs dieser Größe verzichtet wurde.

   Hingegen zeigte sich eine in Relation zur Haftfläche größere Streuung der Einzelwerte des Volumens: Unterschiedliche Volumina verschiedener Plazenten gleichen Alters werden weniger durch Größenunterschiede der uterinen Haftfläche als vielmehr durch unterschiedliche Dicken verursacht. Das Verhältnis von Volumen zu uteriner Haftfläche als Näherungsmaß der mittleren Plazentadicke erwies sich als wertvoll in der Abgrenzung des Normalkollektivs von den Schwangerschaften bei diabetischer Stoffwechsellage der Mutter (s.u.). Durch die Bestimmung des Quotienten aus Volumen und Haftfläche konnte ein anderer Weg zur Annäherung an die Plazentadicke als der in den Untersuchungen von HOLLÄNDER und SCHLENSKER angegebene beschritten werden. Beide Autoren hatten mit Real-time-Scannern die Plazenta beschallt, die dickste Stelle des Mutterkuchens aufgesucht und durch Anlegen eines Maßstabs vermessen. Sie gelangten auf diese Weise zu Werten der Plazentadicke von 3,6 bis 3,8 cm im Normalkollektiv. Übereinstimmend weisen beide Untersucher auf eine geringgradige Abnahme der Plazentadicke nach der 36. Schwangerschaftswoche hin. HOLLÄNDER sieht als mögliche Ursache die Auswalzung der Plazenta durch den zunehmenden intrauterinen Druck an. In der Mehrzahl der hier untersuchten Graviditäten war der Maximalwert des Quotienten aus Volumen und Haftfläche bereits in der 32. Woche erreicht (2,31 ; Standardabweichung 0,47); der mittlere Wert zwischen der 32. und 40. Woche beträgt 2,23 (Standardabweichung 0,36).

4. Bei den Plazenten wachstumsretardierter Feten liegen sowohl die Volumina als auch die Haftflächen in der Mehrzahl unterhalb der Mittelwerte des Normalwachstums, sind also insgesamt kleiner. Dieser Befund kann jedoch wegen der geringen Fallzahl nicht statistisch abgesichert werden. Auch der Quotient aus Volumen und Haftfläche zeigt keinen abweichenden Verlauf gegenüber dem Normalkollektiv.

5. Der Vergleich der Einzelvolumina und -haftflächen der Plazenten diabetischer Mütter mit den Werten "normaler" Schwangerschaften zeigt eine Tendenz der Plazenten in diabetischen Graviditäten zu größeren Volumina bei gleichen Haftflächen. Das Volumenwachstum erfolgt hier überwiegend über eine Zunahme der Plazentadicke. Dies wird auch durch den Quotienten aus Volumen und Haftfläche bestätigt, der sich zwischen der 32. und 40. Schwangerschaftswoche signifikant auf dem 1% - Niveau von dem des Normalkollektivs unterscheidet (2,48 und Standardabweichung 0,46 gegenüber 2,23 und Standardabweichung 0,36).

Ein Teil der Plazenten der pathologischen Gruppen weicht in seinem Verhältnis zur jeweiligen Größe des Feten deutlich von der Norm ab. Eine Aussage über Suffizienz oder Insuffizienz der Plazenta kann jedoch nicht getroffen werden. Eine ungenügende Leistung des Organs wird sich, wie GRUENWALD und auch KLOOSTERMAN betonen, in extremen Fällen auch in der Größe des Organs ausdrücken. Die sonographisch ermittelte Größe erlaubt jedoch keine Aussage über die Reservekapazität der Plazenta.

Untersuchungen über die Feinstruktur der Plazenta im Ultraschallbild, ergänzt durch die Größenbestimmung, sind eher geeignet, die Funktionsdiagnostik dieses Organs zu verbessern.

7. ZUSAMMENFASSUNG

Die Ultraschall-Grauwertdarstellung ermöglicht - im Gegensatz zu älteren Verfahren wie der eindimensionalen A-Bild-Technik oder der Darstellung des Schnittbildes auf einem Kathodenstrahloszillographen - die exakte Abgrenzung der Plazenta von den sie umgebenden Strukturen und damit die Ermittlung der intrauterinen Größe und Ausdehnung des Organs.

Verschiedene Parameter der Plazentagröße, insbesondere Gewicht und Volumen sowie ihre Beziehungen zum kindlichen Geburtsgewicht, sind in zahlreichen postpartalen Studien untersucht worden. Die Mehrzahl der Autoren konstatiert eine Zunahme des Plazentagewichtes bis zum Ende der Schwangerschaft. Bezüglich des Verhältnisses von Plazentagewicht und Kindsgewicht wird von den meisten Autoren eine deutliche Abhängigkeit beider Größen angegeben.

Metrische Untersuchungen der Plazenta mittels Ultraschall liegen in nur geringer Zahl vor: HOLLÄNDER und MAST (1968) nahmen intrauterine Dickenmessungen der Plazenta vor, wobei sie die Meßwerte normaler Schwangerschaften und von Rhesus-Inkompatibilitäten verglichen. SCHLENSKER berichtete 1971 über Messungen der Plazentadicke im Verlauf der Schwangerschaft. In beiden Untersuchungen wurde eine geringe Abnahme der Plazentadicke in den letzten Wochen der Gravidität festgestellt. Der von HELLMAN et al. 1970 vorgestellten Studie über das intrauterine Volumenwachstum der Plazenta liegt ein vereinfachendes geometrisches Modell des Organs zugrunde. Die ermittelte Wachstumskurve stellt eine Summation querschnittmäßig erhobener Einzeldaten verschiedener Schwangerer dar. Die Autoren geben ein - wenn auch geringer werdendes - Wachstum des Plazentavolumens über die 40. Schwangerschaftswoche hinaus an. BLEKER et al. (1977) führten erstmals eine Longitudinalstudie über den Schwangerschaftsverlauf an zwölf Patientinnen ab der 23. Schwangerschaftswoche durch. Hierzu

benutzten sie ein Plazentamodell aus einem Längs- und drei Querschnittbildern. Da die Schnittebenen der drei Querschnitte mit der Längsschnittebene bekannt und markiert waren, konnte aus den Flächen dieser vier Schnitte das von ihnen begrenzte Plazentavolumen berechnet werden. Nur bei zwei Patientinnen wurde ein kontinuierliches Wachstum bis zum Termin gefunden, in zehn Fällen erreichte das Volumen einen Maximalwert bereits einige Wochen vor dem Ende der Schwangerschaft.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, mittels eines differenzierten Plazentamodells, das den räumlichen Verhältnissen in utero weitgehend Rechnung tragen sollte, eine Annäherung an die tatsächlichen Werte des plazentaren Volumens, der utero-plazentaren Haftfläche und der Gesamtoberfläche des Organs zu erhalten. Auf diese Weise sollte der Wachstumsverlauf der Plazenta im letzten Schwangerschaftsdrittel überprüft werden. Als Kriterien fetalen Wachstums wurden biparietaler Durchmesser und Thorax-Querdurchmesser des Feten durch Ultraschallmessung bestimmt.

Es wurden insgesamt 285 Plazenta-Schnittbildserien aufgezeichnet, von denen 267 auswertbar waren. Diese 267 Schnittbildserien stammen von insgesamt 157 Patientinnen. Eine Serie umfaßt im Durchschnitt rund 15 Einzelschnittbilder, so daß die Gesamtzahl der Ultraschall-Plazentaschnittbilder 4372 betrug. Für die Untersuchung konnten nur Vorderwandplazenten Berücksichtigung finden. An der Hinterwand des Uterus inserierende Plazenten, denen fetale Teile vorliegen, sind meist nicht vollständig darstellbar.

Die Plazenten wurden im Abstand von 2 cm sowohl in Longitudinal- als auch in Transversalrichtung dargestellt und auf einem Videoband zwischengespeichert. Die Einzelschnittbilder wurden auf einen Monitor überspielt und die Konturen des Organs mit dem Griffel einer Digitalisierungseinheit, die um diesen Monitor herum installiert war, punkt-

weise abgetastet. Die Begrenzungspunkte der utero-plazentaren Haftlinie wurden beim Abtasten besonders gekennzeichnet. Mittels eines Prozeßrechners konnten aus den Koordinaten der Begrenzungspunkte des Plazentaumrisses die Fläche sowie die Länge der Haftlinie für jeden Einzelschnitt berechnet werden. Aus diesen Daten eines Einzelschnittes wurden - für Längs- und Querschnittbildserien getrennt - das plazentare Volumen, die Gesamtoberfläche sowie die Haftfläche errechnet. Der Zeitaufwand für die sonographische Darstellung und Aufzeichnung einer Plazenta betrug im Mittel etwa 18 Minuten; für die erneute Darstellung der gespeicherten Einzelplazenta auf dem Monitor, die Digitalisierung der Schnittbilder und das Einlesen des Lochstreifens betrug etwa 30 Minuten.

Von den untersuchten Schwangeren waren 10 (6,4%) Diabetikerinnen der Gruppen B bis E (nach WHITE), bei denen insgesamt 23 Messungen vorgenommen wurden. Neun Patientinnen (5,7%) wurden von wachstumsretardierten, reifen Kindern mit einem Geburtsgewicht unter 2700 g entbunden.

In einer Vorstudie wurden die Fehlerbreiten der Methode mit 1,1 bis 4,8% für den intrapersonellen und 3,3 bis 8,6% für den interpersonellen Fehler bestimmt.

Auf die Längsschnittbildserien mußte zur Bestimmung des Plazentawachstums verzichtet werden, da insbesondere bei fortgeschrittenem Schwangerschaftsalter und stark gewölbter Bauchdecke der Patientinnen die vollständige Aufzeichnung der Plazenta in Längsschnitten unmöglich sein konnte. In den Querschnittserien wurde das Organ hingegen immer vollständig erfaßt.

Die ermittelten Werte für das Plazentavolumen, die uterine Haftfläche und die Gesamtoberfläche des Organs wurden zum Schwangerschaftsalter in Beziehung gesetzt, wobei das Alter der Schwangerschaft nicht allein aus den anamnestischen Daten der Patientin ermittelt, sondern nach den Er-

gebnissen der Schwangerschaftsaltersbestimmung durch Biometrie des Feten korrigiert wurde. Die so ermittelten Wachstumskurven zeigen, daß keiner der genannten Parameter plazentarer Größe jenseits der 34. Schwangerschaftswoche zunimmt.

Die Plazentavolumina des untersuchten Kollektivs weisen größere Differenzen in den einzelnen Wochen der Graviditat auf als die Einzelwerte der uterinen Haftflächen: Unterschiedliche Plazentavolumina werden häufiger durch Dikkendifferenzen der Organe als durch unterschiedlich grosse uterine Haftflächen verursacht. Bei der Betrachtung des Quotienten aus Plazentavolumen und -haftfläche konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den Plazenten diabetischer Schwangerschaften und denen des Normalkollektivs im Sinne höherer Werte ermittelt werden. Plazenten in diabetischen Graviditäten zeigen eine Tendenz zu höheren Volumina, wobei die höheren Volumina durch eine Zunahme der Plazentadicke verursacht sind. Für die Gruppe der wachstumsretardierten Feten konnte eine entsprechende Abweichung, möglicherweise aufgrund der geringen Fallzahl, statistisch nicht abgesichert werden. Dies unterstützt die in postpartalen Studien verschiedener Untersucher geäußerte Auffassung, daß nur in extremen Fällen Plazentagewicht bzw. -volumen das kindliche Geburtsgewicht direkt beeinflussen. Die für die Nutrition des Feten entscheidende plazentare Ausreifung wird durch eine Größenmessung des Organs nicht erfaßt.

Zwischen den beiden Größen Plazentaoberfläche und -haftfläche besteht erwartungsgemäß eine enge Korrelation, die sich auch in den Risikokollektiven bestätigt.

Als Kriterium der synchron verlaufenden fetalen und plazentaren Wachstumszunahme ist in der Literatur der Plazenta-Kindsgewicht-Index bekannt. Der analog hierzu gebildete Quotient aus sonographisch ermitteltem Plazentavolumen und Schätzgewicht des Feten (aus biparietalem

und Thorax-Querdurchmesser) nimmt von 0,54 (Standardabweichung 0,12) als Mittelwert in der 30. Schwangerschaftswoche annähernd linear auf 0,24 (Standardabweichung 0,09) am Termin ab. In Relation zum fetalen Wachstum zeigt die Wachstumsgeschwindigkeit der Plazenta im dritten Trimenon einen kontinuierlichen Rückgang.

Beim Vergleich der intrauterin bestimmten Plazentagröße mit den postpartal an den Plazenten erhobenen Befunden konnten keine engen Korrelationen ermittelt werden. Dies ist in erster Linie durch den kaum kalkulierbaren Blutverlust des Organs post partum erklärbar.

In bezug auf die Aussagekraft der Bestimmung des Plazentawachstums zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist zu bemerken, daß ein Teil der Plazenten der pathologischen Gruppen in seiner Größe und in deren Verhältnis zur jeweiligen Größe des Feten deutlich von der Norm abweicht. Es ist jedoch derzeit nicht möglich, eine Aussage über Suffizienz oder Insuffizienz der Plazenta zu treffen, da die Reservekapazität der einzelnen Plazenta über die Bestimmung der Grösse des Organs nicht erfaßbar ist. Eine Verbesserung der Funktionsdiagnostik der Plazenta wird durch Größenbestimmung in Zusammenhang mit einer Analyse der Gewebestruktur erwartet.

8. LITERATURVERZEICHNIS

(1) ABRAMOWSKI, P., KOPECKY, P.
Zur Ultraschalldiagnostik der Hinterwandplazenta unter Berücksichtigung von Phantomversuchen
Geburtsh. u. Frauenheilk. 29 (1969) 745

(2) ADAIR, F.L., THELANDER, H.
A study of the weight and dimensions of the human placenta in its relation to the weight of the newborn infant
Am. J. Obstet. Gynecol. 10 (1925) 172

(3) AUINGER, W., BAUER, P.
Zum Zusammenhang zwischen Kindsgewicht, Plazentagewicht, Muttergewicht und Muttergröße
Arch. Gynäkol. 217 (1974) 289

(4) BEIER, W., DÖRNER, E.
Der biologische Wirkungsmechanismus des Ultraschalls
In: Der Ultraschall in Biologie und Medizin, Leipzig (1954)

(5) BENDER, H.G.
Plazenta-Insuffizienz. Morphometrische Untersuchungen am Modell der Rhesus-Plazenta
Arch. Gynäkol. 216 (1974) 289

(6) BLEKER, O.P., KLOOSTERMAN, G.J., MIERAS, D.J., OOSTING, J., SALLE, H.J.
Intervillous space during uterine contractions in human subjects: An ultrasonic study
Am. J. Obstet. Gynecol. 123 (1975) 697

(7) BLEKER, O.P., KLOOSTERMAN, G.J., BREUR, W., MIERAS, D.J.
The volumetric growth of the human placenta: A longitudinal study
Am. J. Obstet. Gynecol. 127 (1977) 657

(8) BUSCH, W.
Die Placenta bei der fetalen Mangelentwicklung. Makroskopie und Mikroskopie von 150 Placenten fetaler Mangelentwicklungen
Arch. Gynäkol. 212 (1972) 333

(9) CAMPBELL, S., KOHORN, E.I.
Placental localization by ultrasonic compound scanning
J. Obstet. Gynaecol. Brit. Cwlth. 75 (1968) 1007

(10) CAMPBELL, S., WLADIMIROFF, J.W., DEWHURST, C.J.
The antenatal measurement of fetal urine production
J. Obstet. Gynaecol. Brit. Cwlth. 80 (1973) 680

(11) CARSON, P.L., FISCHELLA, P.R., OUGHTON, T.V.
Ultrasonic power and intensities produced by diagnostic ultrasound equipment
Ultrasound Med. Biol. 3 (1978) 341

(12) DÄSSLER, C.G.
Korrelationen zwischen dem Geburtsgewicht des Kindes, dem Placentagewicht und der mütterlichen Östriol- und Pregnandiolausscheidung bei Präeklampsie und bei chronischer Hypertonie
Arch. Gynäkol. 204 (1967) 157

(13) DÖRSTE, P.
Beziehungen des Plazentagewichtes zum Alter, Familienstand, zur Parität und zum Tätigkeitsmerkmal der Mutter sowie zum Gewicht bzw. zur Reife und zum Geschlecht des Neugeborenen
Zbl. Gynäkol. 98 (1976) 102

(14) DONALD, I., MACVICAR, J., BROWN, T.G.
Investigation of abdominal masses by pulsed ultrasound
Lancet 1 (1958) 1188

(15) DONALD, I., ABDULLA, U.
Placentography by sonar
J. Obstet. Gynaecol. Brit. Cwlth. 75 (1968) 993

(16) DONALD, I.
On launching a new diagnostic science
Am. J. Obstet. Gynecol. 103 (1969) 609

(17) DONALD, I.
Sonar: What it can and cannot do in obstetrics
Scott. Med. J. 19 (1974) 203

(18) DONALD, I.
New diagnostic horizons with sonar
Brit. J. Radiol. 49 (1976) 306

(19) FISHER, C.C., GARRETT, W., KOSSOFF, G.
Placental aging monitored by grey scale echography
Am. J. Obstet. Gynecol. 124 (1976) 483

(20) FRY, F.J., ERDMANN, W.A., JOHNSON, L.K., BAIRD, A.I.
Ultrasonic toxicity study
Ultrasound Med. Biol. 3 (1978) 351

(21) GARROW, J.S.
The relationship of foetal growth to size and composition of the placenta
Proc. Roy. Soc. Med. 63 (1970) 498

(22) GOTTESFELD, K.R., THOMPSON, H.E., HOLMES, J.H., TAYLOR, E.S.
Ultrasonic placentography - a new method for placental localization
Am. J. Obstet. Gynecol. 96 (1966) 538

(23) GOTTESFELD, K.R.
The practical applications of ultrasound in obstetrics and gynecology
In: Diagnostic Ultrasound, New York (1966)

(24) GRUENWALD, P., MINH, H.N.
Evaluation of body and organ weights in perinatal pathology
II. Weight of body and placenta of surviving and of autopsied infants
Am. J. Obstet. Gynecol. 82 (1961) 312

(25) GRUENWALD, P.
Chronical fetal distress and placental insufficiency
Biol. Neonate 5 (1963) 215

(26) HAMILTON, W.J., GIRMES, D.H.
Growth relationship between the foetus and the placenta
Proc. Roy. Soc. Med. 63 (1970) 496

(27) HANSMANN, M.
Ultraschallkephalo- und -thorakometrie zur Kontrolle des fetalen Wachstums unter besonderer Berücksichtigung der präpartalen Gewichtsschätzung
Habilitationsschrift, Bonn (1974)

(28) HANSMANN, M.
Kritische Bewertung der Leistungsfähigkeit der Ultraschalldiagnostik in der Geburtshilfe heute
Gynäkologe 7 (1974) 1

(29) HELLMANN, L.M., KOBAYASHI, M., TOLLES, W.E., CROMB, E.
Ultrasonic studies on the volumetric growth of the human placenta
Am. J. Obstet. Gynecol. 108 (1970) 740

(30) HENDRICKS, C.
Patterns of fetal and placental growth: The second half of normal pregnancy
Obstet. Gynecol. 24 (1964) 357

(31) HILZ, E.
Physik und Technik der Ultraschalldiagnostik
Elektromedizin 14 (1969) 215

(32) HIRVONEN, T., TOIVANEN, P.
Parity, birth and placental weight in normal and complicated pregnancy
Acta Obstet. Gynecol. Scand. 50 (1971) 67

(33) HOLLÄNDER, H.J., MAST, H.
Intrauterine Dickenmessungen der Plazenta mittels Ultraschalls bei normalen Schwangerschaften und bei Rh-Inkompatibilität
Geburtsh. u. Frauenheilk. 28 (1968) 662

(34) HOLLÄNDER, H.J.
Die Ultraschalldiagnostik in der Schwangerschaft
Berlin (1972)

(35) HOSEMANN, H.
Ernährung und fötale Entwicklung
Dtsch. Med. Wschr. 72 (1947) 507

(36) HOSEMANN, H.
Schwangerschaftsdauer und Gewicht der Plazenta
Arch. Gynäkol. 176 (1949) 455

(37) HOWRY, D.H., BLISS, W.R.
Ultrasonic visualization of soft tissue structures of the body
J. Lab. Clin. Med. 40 (1952) 579

(38) HÜNERMANN, B., HANSMANN, M., STOLP, W.
Die pränatale Messung der Placentadurchblutung und des Placentavolumens
Arch. Gynäkol. 214 (1973) 311

(39) KLINK, R., HANSMANN, M., HÜNERMANN, B.
Die Lokalisation der Plazenta
Dtsch. Med. Wschr. 96 (1971) 1473

(40) KLOOSTERMAN, G.D., HUIDEKOPER, B.L.
The significance of the placenta in "obstetrical mortality"
Gynaecologie 138 (1954) 529

(41) KLOOSTERMAN, G.J.
Hoe long groeit the menselijke placenta ?
Ned. Tijdschrift Verlosk. 65 (1965) 202

(42) KLOOSTERMAN, G.J.
On intrauterine growth. The significance of prenatal care
Int. J. Gynaecol. Obstet. 8 (1970) 895

(43) KOSSOFF, G., GARRETT, W.J.
Ultrasonic film echography in gynecology and obstetrics
Obstet. Gynecol. 40 (1972) 299

(44) KOSSOFF, G., GARRETT, W.J., RADOVANOVICH, G.
Grey scale echography in obstetrics and gynecology
Austral. Radiol. 18 (1974) 62

(45) KRATOCHWIL, A.
Die diagnostische Anwendung des Ultraschalls in der Geburtshilfe und Gynäkologie
Zbl. Gynäkol. 88 (1966) 1032

(46) KRATOCHWIL, A.
Möglichkeiten und Grenzen der Ultraschalldiagnostik
Geburtsh. u. Frauenheilk. 34 (1974) 210

(47) KRATOCHWIL, A.
The state of ultrasound diagnosis in perinatal medicine
J. Perinat. Med. 3 (1975) 75

(48) LEMTIS, H., HADRICH, G.
Über die Gewichtsabnahme des Mutterkuchens nach der Geburt und die Bedeutung für den Quotienten aus Plazenta- und Geburtsgewicht
Geburtsh. u. Frauenheilk. 34 (1974) 618

(49) LOCH, E.-G.
Kritische Betrachtungen über mögliche Nebenwirkungen der Ultraschalldiagnostik
Gynäkologe 9 (1976) 103

(50) MCKEOWN, T., RECORD, R.G.
The influence of placental size on foetal growth in man, with special reference to multiple pregnancy
J. Endocr. 9 (1953) 418

(51) ROBINSON, D.H., GARRETT, W.J.
Ultrasonic visualization of the placenta
Med. J. Austr. 2 (1970) 1062

(52) SCHLENSKER, K.H.
Plazentographie mittels Ultraschall-Schnittbildverfahren
Geburtsh. u. Frauenheilk. 31 (1971) 879

(53) SCHLENSKER, K.H.
Ultraschallplazentographie
Gynäkologe 9 (1976) 156

(54) SCHMIDT, H., KOZLOWSKI, P., TERINDE, R.
Biometrie der Plazenta. Digitale Vermessung von Ultraschallschnittbildern
Kongreßband "Ultraschall-Diagnostik 1977", Wien

(55) SCOTT, J.M., JORDAN, J.M.
Placental insufficiency and the small-for-date baby
Am. J. Obstet. Gynecol. 113 (1972) 823

(56) STIGSBY, B., RASMUSSEN, S.N.
A semi-automatic method for liver volume determination based on ultrasonic scanning
Comp. Progr. Biomed. 2 (1971) 66

(57) TERINDE, R., BENDER, H.G., HERBERGER, J., KOZLOWSKI, P., SCHMIDT, H.
Biometrie der Plazenta. Wachstumsverlauf der Plazenta und Vergleich von kindlichen und plazentaren Merkmalen
Kongreßband "Ultraschall-Diagnostik 1977", Wien

(58) THOMSON, A.M., BILLEWICZ, W.Z., HYTTEN, F.E.
The weight of the placenta in relation to birthweight
J. Obstet. Gynaecol. Brit. Cwlth. 76 (1969) 865

(59) WINICK, M., COSCIA, A., NOBLE, A.
Cellular growth in human placenta.
I. Normal placental growth
Pediatrics 39 (1967) 248

(60) ZSCHIESCHE, W., GERLACH, H.
Biometrische Untersuchungen über die Plazenta
und die Beziehungen zwischen Plazenta und Frucht
Arch. Gynäkol. 199 (1963) 199

9. ANHANG

GRUNDZÜGE DER DURCHGEFÜHRTEN BERECHNUNGEN

9.1 Berechnung der Fläche, der Haftlinie und des Umfangs eines Plazenta-Einzelschnittes

Tabelle A1 zeigt die durch Digitalisierung gewonnenen Einzeldaten einer der 267 ausgewerteten Plazenta-Schnittbildserien. Dem ersten Schnitt - Längs "0" - sind identifizierende Daten vorangestellt, die durch Berühren definierter Felder innerhalb des Digitalisierungsrahmens "eingelesen" wurden (s.o. Abschnitt 3.5). Die Zuordnung der Koordinatenpaare zu Ziffern, Buchstaben oder Symbolen ist in jeweils jeder zweiten Zeile angegeben. In Abbildung A1 sind die Koordinatenpaare des Plazenta-Einzelschnittes Längs "-6", d.h. des Längsschnittes, der 6 cm links lateral parallel zur Medianebene verläuft, in einem zweidimensionalen Koordinatensystem dargestellt. Die Begrenzungspunkte der utero-plazentaren Haftlinie wurden bei jeder Digitalisierung besonders gekennzeichnet. Sie sind in der Abbildung durch + dargestellt.

Die jeweils zwei aufeinanderfolgenden Koordinatenpaaren entsprechenden Punkte wurden zur Berechnung der Fläche eines Einzelschnittes so behandelt, als seien sie durch eine Gerade verbunden. Versuche, die Verbindungslinie der einzelnen Punkte durch den Graphen einer spline-function zu erfassen, wurden nicht weiterverfolgt: Der Fehler in der Volumenberechnung, der durch die Verbindung jeweils zweier Punkte mittels eines Vektors entstand, erschien gegenüber den beschriebenen Fehlern (s.o. Abschnitt 4) vernachlässigbar klein.

Die Flächenberechnung eines Plazenta-Einzelschnittes ist ebenfalls in Abbildung A1 schematisch dargestellt. Ober- und Unterrand des Digitalisierungsfeldes und die beiden in x-Richtung am weitesten voneinander entfernten Punkte

```
KOZL   T=00003 IS ON CR00811 USING 00024 BLKS R=0000

0001
0002
0003
0004
0005
0006      ORIGINAL-DATEN AUF LOCHSTREIFEN NACH VISUELLER DIGITALISIERUNG
0007
0008
0009                    IDENTIFIKATION
0010  0488,5584 2108,5591 0277,4806 0276,5600 1699,5606 0270,5601 1483,559
0011      2         0         Tab.      1         8         1         7
0012  1688,5601 0263,4797 1667,5197 1875,5402 1284,5013 1079,5412 1690,520
0013      8         Tab.      K         O         N         T         K
0014  1880,5411 0473,5411 0253,4809 1699,5215 1881,5410 0264,5000 1891,520
0015      O         W         Tab.      K         O         Z         L
0016  1886,5411 0474,5408 0477,5195 1694,5196 1689,5411 0252,4798 0679,559
0017      O         W         S         K         I         Tab.      3
0018  1900,4996 0280,5594 2101,5606 1886,4991 1480,5597 1486,5596 3165,520
0019      .         I         0         .         7         7      Laengs
0020
0021                    LAENGSSCHNITT
0022  2944,3602 0292,3465 0344,3558 0421,3663 0511,3729 0588,3781 0683,382
0023  0799,3864 0892,3890 1006,3895 1107,3900 1223,3899 1329,3897 1458,387
0024  1572,3868 1674,3854 1765,3829 1879,3793 1988,3753 2109,3700 2175,369
0025  2276,3575 2315,3516 2353,3460 3311,3595 2268,3444 2176,3467 2068,351
0026  1985,3539 1937,3602 1872,3630 1777,3689 1689,3714 1597,3720 1521,370
0027  1451,3670 1355,3636 1275,3661 1174,3684 1107,3707 1050,3734 0958,373
0028  0880,3717 0818,3698 0747,3690 0698,3657 0638,3651 0557,3609 0471,356
0029  0454,3534 0430,3502 0389,3479
0030
0031                    LAENGSSCHNITT  -2          KOORDINATENPAARE 43
0032  3412,5407 2935,3609 0437,3602 0490,3675 0552,3717 0639,3776 0719,381
0033  0834,3828 0921,3832 1040,3836 1166,3839 1304,3842 1441,3831 1563,382
0034  1656,3823 1781,3785 1883,3766 1982,3735 2075,3685 2171,3617 2242,359
0035  2286,3498 2306,3422 3259,3614 2237,3421 2148,3456 2062,3484 1948,352
0036  1909,3583 1879,3638 1739,3679 1648,3663 1595,3654 1519,3644 1427,364
0037  1321,3658 1247,3672 1151,3694 1078,3682 1017,3675 0898,3663 0796,363
0038  0712,3594 0639,3565 0575,3551 0509,3557
```

Tab. A1 (Fortsetzung auf den nächsten beiden Seiten): Einzeldaten einer der ausgewerteten Plazenta-Schnittbildserien. Dem ersten Schnitt - Längsschnitt "0" - sind identifizierende Daten vorangestellt. Erläuterungen: 20 = Laufnummer; Tab. = Tabulator, um in zehnspaltiger Schreibweise auszudrucken; 18178 = Nummer des Geburts-Kardiotokogramms; es folgen Patienten- und Untersuchernamen sowie das Datum der Untersuchung. Jeder der Einzelschnitte ist mit der Identifikation der Schnittebene sowie der Anzahl der digitalisierten Koordinatenpaare versehen.

```
0039
0040                    LAENGSSCHNITT  -4           KOORDINATENPAARE 43
0041   3223,5385 2947,3598 0469,3544 0517,3637 0569,3704 0673,3773 0802,3
0042   0949,3852 1075,3856 1214,3845 1330,3818 1446,3816 1546,3800 1665,3
0043   1772,3743 1858,3720 1952,3685 2073,3619 2149,3549 2217,3478 2263,3
0044   2295,3355 3287,3607 2236,3304 2160,3259 2081,3305 1959,3346 1916,3
0045   1872,3504 1791,3552 1726,3590 1652,3586 1573,3586 1479,3589 1373,3
0046   1310,3600 1200,3602 1080,3597 0985,3585 0868,3576 0807,3579 0732,3
0047   0692,3532 0624,3552 0575,3528 0524,3518
0048
0049                    LAENGSSCHNITT  -6           KOORDINATENPAARE 38
0050   3043,5379 2940,3597 0493,3546 0564,3617 0645,3661 0741,3711 0841,3
0051   0935,3782 1055,3784 1179,3767 1303,3749 1414,3737 1512,3725 1613,3
0052   1710,3687 1791,3653 1876,3596 1959,3540 2053,3495 2111,3455 2132,3
0053   3352,3605 2031,3353 1952,3336 1869,3325 1772,3328 1697,3330 1590,3
0054   1535,3382 1441,3396 1368,3392 1292,3411 1215,3460 1128,3461 1017,3
0055   0931,3467 0888,3489 0778,3488 0726,3516 0656,3533 0581,3528
0056
0057                    LAENGSSCHNITT  -8           KOORDINATENPAARE 23
0058   2839,5396 2922,3604 0813,3614 0932,3645 1068,3653 1195,3650 1328,3
0059   1449,3602 1566,3589 1676,3551 1776,3506 1846,3473 1918,3444 3302,3
0060   1835,3403 1758,3383 1657,3367 1598,3402 1548,3449 1478,3469 1403,3
0061   1240,3480 1166,3490 1027,3514 0937,3532 0863,3553
0062
0063                    QUERSCHNITT    -16           KOORDINATENPAARE 25
0064   2855,4580 2955,3602 0607,3654 0681,3700 0778,3723 0882,3737 0991,3
0065   1091,3727 1173,3719 1261,3675 1344,3628 1417,3561 1486,3487 3303,3
0066   1442,3457 1395,3433 1318,3445 1271,3476 1218,3540 1170,3568 1103,3
0067   1035,3609 0968,3631 0892,3650 0811,3652 0740,3628 0702,3616 0656,3
0068
0069                    QUERSCHNITT    -14           KOORDINATENPAARE 31
0070   3024,4586 2948,3606 0480,3682 0549,3736 0647,3785 0761,3805 0878,3
0071   0991,3833 1093,3830 1197,3829 1312,3800 1405,3756 1485,3706 1556,3
0072   1611,3526 1603,3433 1584,3370 1558,3307 3276,3594 1506,3318 1448,3
0073   1376,3413 1318,3466 1260,3506 1199,3568 1125,3596 1035,3622 0974,3
0074   0883,3668 0825,3662 0757,3635 0676,3638 0614,3641 0548,3645
0075
0076                    QUERSCHNITT    -12           KOORDINATENPAARE 42
0077   3252,4590 2940,3594 0458,3707 0512,3775 0610,3838 0727,3884 0837,3
0078   0988,3946 1143,3944 1245,3930 1369,3890 1441,3850 1513,3814 1590,3
0079   1658,3690 1696,3617 1724,3539 1729,3423 1712,3339 1692,3258 1694,3
0080   1689,3085 3261,3595 1637,3044 1550,3064 1542,3135 1537,3216 1507,3
0081   1464,3369 1439,3443 1407,3523 1369,3585 1342,3623 1298,3668 1212,3
0082   1164,3742 1075,3770 0989,3776 0907,3759 0849,3706 0802,3663 0741,3
0083   0655,3656 0588,3659 0519,3674
0084
0085                    QUERSCHNITT    -10           KOORDINATENPAARE 46
0086   3443,4594 2976,3606 0445,3717 0478,3785 0559,3850 0672,3909 0782,3
0087   0888,4002 0995,4018 1102,4025 1215,4021 1326,4019 1425,3999 1528,3
0088   1599,3926 1670,3889 1759,3836 1784,3761 1768,3671 1765,3584 1764,3
0089   1751,3400 1746,3314 1710,3220 1659,3142 1604,3111 1552,3097 3293,3
0090   1500,3101 1448,3126 1441,3181 1444,3248 1455,3306 1463,3374 1479,3
0091   1481,3570 1440,3660 1376,3708 1284,3757 1196,3794 1104,3799 1041,3
0092   0938,3809 0862,3769 0795,3714 0733,3680 0644,3656 0580,3651 0519,3
```

```
0093
0094                QUERSCHNITT    -8            KOORDINATENPAARE 38
0095  2829,4404 2908,3603 0718,3776 0778,3842 0855,3895 0963,3929 1119,3
0096  1304,3941 1425,3908 1519,3857 1606,3804 1684,3737 1742,3669 1805,3
0097  1867,3510 1886,3442 1885,3346 1875,3261 1841,3195 1805,3103 3249,3
0098  1744,3088 1672,3086 1663,3152 1659,3252 1658,3322 1668,3402 1639,3
0099  1583,3550 1520,3591 1459,3638 1394,3701 1319,3715 1241,3708 1169,3
0100  1098,3665 1022,3633 0945,3604 0891,3623 0831,3660 0773,3702
0101
0102                QUERSCHNITT    -6            KOORDINATENPAARE 29
0103  3029,4396 2948,3589 0688,3749 0766,3789 0866,3833 0976,3899 1091,3
0104  1220,3959 1341,3924 1452,3891 1531,3858 1622,3798 1712,3730 1790,3
0105  1860,3600 1898,3515 3237,3608 1825,3480 1744,3468 1682,3491 1617,3
0106  1542,3585 1477,3626 1416,3689 1344,3719 1277,3748 1200,3724 1118,3
0107  1036,3641 0967,3616 0902,3603 0805,3648
0108
0109                QUERSCHNITT    -4            KOORDINATENPAARE 31
0110  3234,4399 2928,3609 0724,3701 0776,3773 0873,3838 0981,3885 1108,3
0111  1319,3946 1438,3920 1539,3868 1625,3814 1698,3754 1771,3700 1847,3
0112  1898,3594 1956,3533 3285,3595 1891,3495 1772,3469 1707,3480 1647,3
0113  1608,3541 1571,3578 1516,3632 1466,3701 1397,3742 1306,3758 1216,3
0114  1144,3719 1065,3679 1020,3655 0922,3644 0893,3669 0804,3669
0115
0116                QUERSCHNITT    -2            KOORDINATENPAARE 26
0117  3424,4393 2929,3609 0717,3768 0749,3822 0887,3870 1010,3908 1129,3
0118  1273,3978 1398,3982 1526,3947 1629,3906 1693,3848 1783,3767 1825,3
0119  3319,3599 1764,3643 1704,3598 1622,3577 1553,3626 1484,3671 1445,3
0120  1361,3783 1254,3794 1158,3769 1072,3729 0983,3708 0892,3685 0823,3
0121  0766,3720
0122                QUERSCHNITT     0            KOORDINATENPAARE 18
0123  3142,4190 1052,3930 1148,3968 3094,3429 3177,4209 2926,3614 1048,3
0124  1140,3957 1248,3993 1383,4001 1544,3980 1681,3927 1773,3850 1771,3
0125  1767,3638 3334,3597 1678,3651 1607,3685 1578,3759 1539,3817 1503,3
0126  1417,3918 1236,3898 1144,3903 1092,3894
0127
0128                LAENGSSCHNITT  +2            KOORDINATENPAARE 32
0129  2842,4995 2919,3597 0666,3913 0771,3946 0895,3956 1026,3943 1152,3
0130  1296,3923 1408,3912 1536,3915 1665,3892 1801,3846 1903,3797 1972,3
0131  2045,3689 3310,3600 1965,3679 1885,3670 1809,3689 1730,3689 1654,3
0132  1565,3762 1506,3763 1429,3720 1362,3689 1289,3648 1188,3671 1106,3
0133  1010,3743 0939,3748 0869,3778 0821,3774 0765,3753 0727,3784 0702,3
0134
0135                LAENGSSCHNITT  +4            KOORDINATENPAARE 29
0136  3027,5002 2932,3604 0575,3797 0674,3817 0808,3825 0935,3819 1071,3
0137  1216,3822 1352,3818 1481,3821 1592,3822 1729,3787 1839,3724 1911,3
0138  3351,3604 1852,3669 1787,3702 1721,3701 1647,3667 1545,3653 1477,3
0139  1390,3620 1286,3633 1208,3685 1139,3675 1051,3686 0980,3688 0909,3
0140  0832,3658 0768,3655 0702,3704 0642,3735
0141
0142                LAENGSSCHNITT  +6            KOORDINATENPAARE 21
0143  0642,3735 2942,3605 0697,3773 0801,3792 0929,3780 1056,3767 1214,3
0144  1360,3782 1494,3764 1592,3717 1653,3666 3328,3601 1568,3646 1473,3
0145  1392,3619 1316,3640 1222,3665 1147,3658 1042,3680 0957,3664 0839,3
0146  0739,3690 0715,3721
```

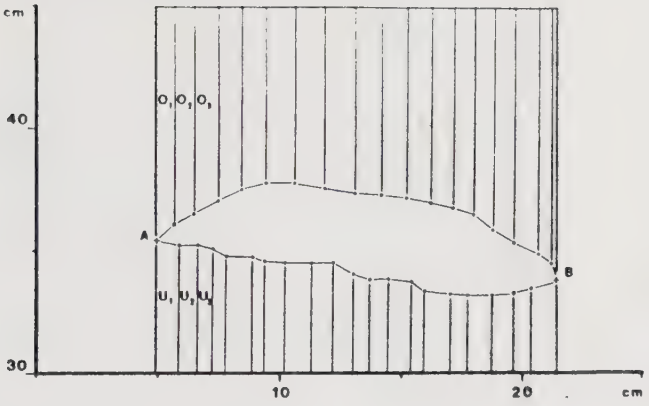


Abb. A1: Darstellung der Koordinatenpaare des Längsschnittes "-6" im zweidimensionalen Koordinatensystem. + - Begrenzungspunkte A und B der utero-plazentaren Haftlinie. Ober- und Unterrand des Digitalisierungsfeldes und die beiden in Richtung der x-Achse am weitesten entfernten Plazentapunkte A und B erlauben die Konstruktion eines Rechtecks, das die Plazenta-Schnittfläche einschließt. Die Senkrechten von der x-Achse auf jeweils zwei benachbarte Punkte begrenzen Trapeze oberhalb (O_1 , O_2 , ...) und unterhalb (U_1 , U_2 , ...) der Plazenta. Subtrahiert man die Summe der Flächeninhalte aller Trapeze oberhalb und unterhalt der Plazenta, resultiert der Flächeninhalt eines Plazenta-Einzelschnittes.

(A und B) erlauben die Konstruktion eines Rechtecks, das die Plazenta-Schnittfläche einschließt. Die Senkrechten von der x-Achse auf jeweils zwei benachbarte Punkte begrenzen Trapeze oberhalb (O_1 , O_2 , ...) und unterhalb (U_1 , U_2 , ...) der Plazentaschnittfläche. Subtrahiert

man die Flächeninhalte aller Trapeze ober- und unterhalb der Plazenta vom Gesamtinhalt des oben beschriebenen Rechtecks, resultiert der Flächeninhalt eines Plazenta-Einzelschnitts.

Zur Berechnung der utero-plazentaren Haftlinie ($\overline{AB}$ obere Wegstrecke in Abb. A1) bzw. des Gesamtumfangs eines Einzelschnitts ($\overline{AB}$ obere und untere Wegstrecke in Abb. A1) wurden die Längen der die einzelnen Punkte verbindenden Strecken addiert.

9.2 Berechnung des Volumens, der Haftfläche und der Gesamtoberfläche einer Plazenta

Die Flächen sowie Haftlinien und Umfänge aller Einzelschnittbilder einer Serie wurden analog dem im Abschnitt 9.1 erläuterten Beispiel berechnet. Tabelle A2 gibt die entsprechenden Werte der Schnittbildserie wieder, deren Koordinatenpaare in Tabelle A1 aufgeführt sind. In den ersten fünf Spalten sind Daten aufgeführt, die die Zugehörigkeit des Einzelschnitts zur Längs- oder Querschnittebene sowie die Anzahl der jeweils digitalisierten Koordinatenpaare bezeichnen. In der Spalte "Sprung" ist angegeben, ob der Abstand zwischen zwei benachbarten Punkten größer als 2 cm war, um auf mögliche Fehler bei der Digitalisierung aufmerksam zu machen. Die letzten drei Spalten enthalten die errechneten Werte für die Fläche, die utero-plazentare Haftlinie und den Gesamtumfang der Einzelschnittbilder. Zur optischen Kontrolle der korrekten Digitalisierung wurden die Quer- und Längsschnittbilder jeder Serie in dreidimensionalen Koordinatensystemen dargestellt. Abbildung A2 zeigt dies am Beispiel der in den Tabellen A1 und A2 bereits aufgeführten Plazenta. Die doppelt ausgezogenen Linien markieren die utero-plazentaren Haftlinien. Der in Abbildung A1 zur Darstellung der Flächenberechnung gezeigte Einzelschnitt ist in Abbildung A2 schraffiert.

13.TER FALL AB RECORD-# 198 IDENTIFIKATION
*** 20 18178 KONTROW KOZLOWSKI 3.10.77

REC#	LAW	Q/L	ABST	ANZAHL	SPRUNG	FLAECHE	HAFTUMFA.	UMFANG
198	1	LA	0	50		48.3	28.1	54.5
199	2	LA	-2	43		43.5	25.2	48.5
200	3	LA	-4	43		58.0	25.2	48.9
201	4	LA	-6	38		60.6	21.7	41.6
202	5	LA	-8	23		20.0	13.8	27.6
203	6	QU	-16	25		14.0	11.7	23.0
204	7	QU	-14	31		34.8	18.1	32.2
205	8	QU	-12	42		50.4	23.4	43.8
206	9	QU	-10	46		65.0	27.4	47.9
207	10	QU	-8	38	2.	48.2	21.5	40.5
208	11	QU	-6	29		36.5	17.0	33.1
209	12	QU	-4	31	2.	33.9	17.3	33.6
210	13	QU	-2	26		31.2	15.4	30.1
211	14	QU	0	18	2.	13.4	11.8	22.0
212	15	LA	2	32		33.8	17.2	35.4
213	16	LA	4	29		24.6	16.5	33.2
214	17	LA	6	21		14.5	11.9	24.9

Tab. A2: Ausgedruckte Flächen- und Umfangswerte der Einzelschnittbilder der Serie aus Tab. A1. Die ersten beiden Spalten enthalten identifizierende Laufnummern, Spalte 3 und 4 ordnen zur Längs- (LA) oder Querschnittebene (QU) zu. Spalte "Anzahl" gibt die Zahl der digitalisierten Koordinatenpaare wieder;"Sprung" gibt an, ob der Abstand zwischen zwei Punkten größer als 2 cm war. In den letzten drei Spalten sind die Einzelwerte für die Fläche des Einzelschnitts, die utero-plazentare Haftlinie und den Gesamtumfang angegeben.

Der Abstand zwischen zwei Einzelschnittbildern war sowohl in Quer- als auch in Längsrichtung mit 2 cm festgelegt. Diese Festlegung ging aus der Zielsetzung der Untersuchung hervor, mit so wenigen Ultraschall-Schnittbildern wie nötig die intrauterinen Dimensionen der Plazenta so genau wie möglich zu erfassen. Zur Ermittlung des Volumens wurde zwischen zwei Einzelschnitten linear interpoliert und analog der Volumenberechnung des Kegelschnittes (Mittelwert aus beiden begrenzenden Flächen, multipliziert mit der Höhe,

in diesem Fall stets 2 cm) verfahren.

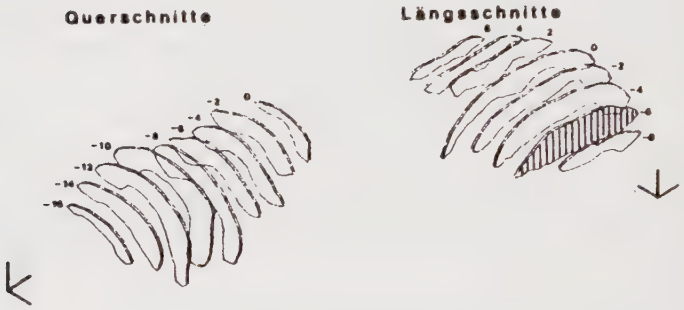


Abb. A2: Darstellung der Quer- und Längsschnittbilder der Serie wie Tab. A1 und Tab. A2. Links Quer-, rechts Längsschnittbilder. Die doppelt ausgezogenen Linien markieren die utero-plazentaren Haftlinien. Schraffiertes Schnittbild: In Abb. A1 zur Darstellung der Flächenberechnung gezeigter Einzelschnitt.

Es erwies sich als notwendig, die Randbezirke der Plazenta rechnerisch möglichst genau zu erfassen. In den seltensten Fällen wurde beim schrittweisen Aufzeichnen einer Plazenta genau der Rand des Organs "getroffen". Um auch die Plazentapolkappen in die Volumen- bzw. Flächenberechnung einzubeziehen, wurde davon ausgegangen, daß im Mittel die Plazenta 1 cm jenseits des letzten Schnittes endet. Die Volumenberechnung für die Polkappen erfolgte nach der Formel für die polygonale Kegelspitze (mit einer Höhe von 1 cm). Durch Addition der Kegelschnittvolumina zwischen den Plazentaschnitten bzw. der Kegelvolumina in den Randbezirken wurde das Gesamtvolumen einer Plazenta - getrennt nach Quer- und Längsschnittserien - ermittelt. Analog hierzu

ergaben sich aus der linearen Interpolation zwischen den Haftlinien bzw. Umfängen der Einzelschnitte die Haftfläche bzw. die Gesamtoberfläche einer Plazenta. In Tabelle A3 sind die entsprechenden Werte der bereits in den vorangegangenen Beispielen angeführten Plazenta aufgelistet.

	Aus Querschnitten berechnet	Aus Längsschnitten berechnet
Plazenta-volumen	654,8 cm^3	606,2 cm^3
Uteroplazentare Haftfläche	323,9 cm^2	315,8 cm^2
Gesamtoberfläche der Plazenta	594,6 cm^2	613,5 cm^2

Tab. A3: Gleiche Plazentaserie wie oben. Werte für Volumen, Haftfläche und Gesamtoberfläche des Organs, getrennt aus Quer- und Längsschnitten berechnet.

Bezüglich der divergenten Ergebnisse aus Quer- und Längsschnittbildserien wird auf Abschnitt 5.1 (S.56) verwiesen.

Lebenslauf

Am 6. Oktober 1951 wurde ich, Peter Michael Kozlowski, als einziges Kind des Installateurmeisters Fritz Kozlowski und seiner Ehefrau Ilse, geb. Wipprecht, in Düsseldorf geboren.

Nach vierjähriger Volksschulzeit besuchte ich seit 1961 das Städtische Geschwister-Scholl-Gymnasium in Düsseldorf, wo ich im Mai 1970 die Reifeprüfung ablegte.

Nach einem allgemeinen Semester an der Ruhr-Universität Bochum im Winter 1970/71 leistete ich von April 1971 bis September 1972 den Zivilen Ersatzdienst in der Chirurgischen Operationsabteilung des St.-Elisabeth-Hospitals in Duisburg-Meiderich.

Im Wintersemester 1972/73 nahm ich das Studium der Medizin an der Universität Düsseldorf auf. Die Ärztliche Vorprüfung legte ich im März 1975, die Ärztliche Prüfung im Mai 1979 ab.

Seit März 1974 bin ich mit meiner Frau Irmgard, geb. Kümmel, verheiratet. Am 2. April 1979 wurde unsere Tochter Katharina geboren.

Ich danke Herrn Prof. Dr. med. L. Beck für die Gewährung der Arbeitsmöglichkeit in der Universitäts-Frauenklinik.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. med. R. Terinde für die Oberlassung des Themas und die wertvollen Hilfen bei der Durchführung der Arbeit.

Herrn Dr. rer. nat. H. Schmidt danke ich für die umfangreichen Programmierarbeiten und die Beratung bei der statistischen Auswertung der Daten.

Herrn Prof. Dr. rer. nat. J. Morgenstern möchte ich für die kritische Begutachtung der Arbeit und die Obernahme des Referates danken.